

Verlustfaktormeßgerät 1033



Ausgabe November 1972

Gültig ab Gerät Nr. 1217

KOMBINAT VEB FUNKWERK ERFURT



501 Erfurt, Rudolfstraße 47 · DDR · Telefon 5 82 80 · Telegramme: Funkwerk Erfurt
Fernschreiber 061 306

Werter Kunde!

Wir freuen uns, daß Sie sich zum Kauf des nachfolgend beschriebenen Meßgerätes entschlossen haben. Es soll Ihnen auf Jahre hinaus bei der Lösung Ihrer Meßprobleme eine wertvolle Hilfe sein. Wir hoffen, daß damit auch Sie zu unseren zahlreichen zufriedenen Kunden gehören werden.

Unsere Meßgeräte sind durch sorgfältige mechanische und elektrische Verarbeitung, Verwendung nur hochwertiger Bauelemente, dem neuesten Stand der Technik entsprechende Konstruktionsprinzipien und exakte Prüfmethaden als Qualitätserzeugnisse bekannt. Wir sind ständig bemüht, unsere Geräte durch geeignete Verbesserungen dem neuesten Stand der Technik anzupassen.

Wir legen besonderen Wert darauf, daß Sie mit dem Gerät die Ihnen gestellten Meßaufgaben schnell und exakt lösen können. Sollten sich jedoch einmal Funktionsstörungen oder irgendwelche Mängel am Gerät einstellen, so wenden Sie sich bitte vertrauensvoll an die Kundendienst-Abteilung unseres Kombinates. Unsere Kunden im Ausland bitten wir, sich in allen Service-Fragen an die in ihrem Land befindliche RFT-Vertragswerkstatt zu wenden; sofern eine solche Vertragswerkstatt noch nicht besteht, an nachstehende Anschrift:

Zentraler Auslands-Service
Elektronische Meßtechnik

1034 **Berlin 34 – DDR**

Warschauer Straße 33

Teilen Sie Ihre Beanstandungen unter Angabe der Nummer des Gerätes mit. Bei Ein-sendung des Gerätes an unsere Reparaturwerkstatt bitten wir, die Beanstandung möglichst genau auf einem am Gerät befestigten Anhänger zu schildern. Damit erleichtern Sie wesentlich die Arbeit der Reparaturstelle und tragen zur Verkürzung der Reparaturzeit bei. Wir werden Ihre Beanstandungen schnellstens erledigen.

In den vorliegenden technischen Arbeitsunterlagen haben wir versucht, Ihnen außer allgemeinen Angaben über Anwendung, technische Kennwerte und Funktionsprinzip auch weitgehend die mit der Bedienung des Gerätes auftretenden Fragen zu beantworten. Es wird uns jedoch kaum gelungen sein, alle Probleme erschöpfend zu behandeln. Wir würden es deshalb begrüßen, wenn Sie uns Ihre Erfahrungen mit dem Gerät mitteilen, evtl. Verbesserungshinweise sowie noch vorhandene Mängel in den technischen Arbeitsunterlagen aufzeigen würden.

Inhaltsübersicht

1.	BESCHREIBUNG	Seite 6
1.1.	Verwendungszweck	Seite 6
1.2.	Blockschaltbild	Seite 7
1.3.	Technische Kennwerte	Seite 8
1.4.	Zubehör	Seite 9
1.5.	Wirkungsweise und Aufbau	Seite 10
1.5.1.	Definition des Verlustfaktors	Seite 10
1.5.2.	Meßprinzip	Seite 11
1.5.3.	Beschreibung der Bausteine	Seite 12
1.5.3.1.	Generator	Seite 12
1.5.3.2.	Koppelkondensator	Seite 13
1.5.3.3.	Meßkreis	Seite 13
1.5.3.4.	Frequenzunabhängiger Dämpfungswiderstand	Seite 13
1.5.3.5.	Anzeigeteil	Seite 14
1.5.3.6.	Stromversorgungsteil	Seite 14
1.5.3.6.1.	Anodenstromversorgung	Seite 14
1.5.3.6.2.	Heizstromversorgung	Seite 15
	Bestückungsplan zur Leiterplatte vollst. Zeichn.-Nr. 4122.007—01004	Seite 16
	Bestückungsplan zur Leiterplatte vollst. Zeichn.-Nr. 4122.007—01005	Seite 17
2.	BEDIENANWEISUNG	Seite 18
	Vorderansicht des Gerätes	Seite 18
	Erläuterungen zur Vorderansicht und zum Text	Seite 19
2.1.	Einstellen auf örtliche Netzspannung	Seite 20
2.2.	Inbetriebnahme	Seite 20
2.3.	Meßvorgang	Seite 20
2.3.1.	Erster Abschnitt der Messung	Seite 20

2.3.2.	Zweiter Abschnitt der Messung	Seite 22
2.3.3.	Grenzen des R-Meßbereiches	Seite 23
2.3.3.1.	Fehlergrenzen der Wirkkomponente	Seite 26
2.3.4.	Grenzen des Meßbereiches für kapazitive Blindkomponenten	Seite 28
2.3.5.	Grenzen des Meßbereiches für induktive Blindkomponenten	Seite 28
2.3.6.	Meßobjekte und Meßmöglichkeiten	Seite 28
2.3.6.1.	Messung an Schwingkreisen	Seite 28
2.3.6.2.	Messung an Schichtwiderständen	Seite 31
2.3.7.	Korrekturen	Seite 31
2.3.7.1.	Einfluß der Anschlußklemmen	Seite 31
2.3.7.2.	Einfluß der Eigenverluste des Meßkreisdrehkondensators	Seite 32
2.3.7.3.	Sonstige Fehler	Seite 32
2.3.8.	Wichtige Hinweise	Seite 33
2.3.9.	Meßbeispiele	Seite 33
2.3.9.1.	Meßobjekt: Keramik Kondensator	Seite 33
2.3.9.2.	Meßobjekt: Keramik Kondensator	Seite 35
2.3.9.3.	Meßobjekt: Schichtwiderstand	Seite 36
2.3.9.4.	Meßobjekt: Spule	Seite 37
2.4.	Wartung	Seite 39
2.4.1.	Röhrenwechsel	Seite 39
2.4.2.	Meßkreisdrehkondensator C 203	Seite 40
2.4.3.	Sonstiges	Seite 40
2.4.3.1.	Lagerung	Seite 41
2.4.4.	Fehlersuchanleitung	Seite 41
	Korrekturkurve 1	Seite 43
	Korrekturkurve 2	Seite 44
	Korrekturkurve 3	Seite 45
3.	SCHALTEILLISTE	Seite 46
	Kennzeichnungstabelle für Widerstände nach TGL	Seite 52
	Stromlaufplan	(siehe Anhang)

1. Beschreibung

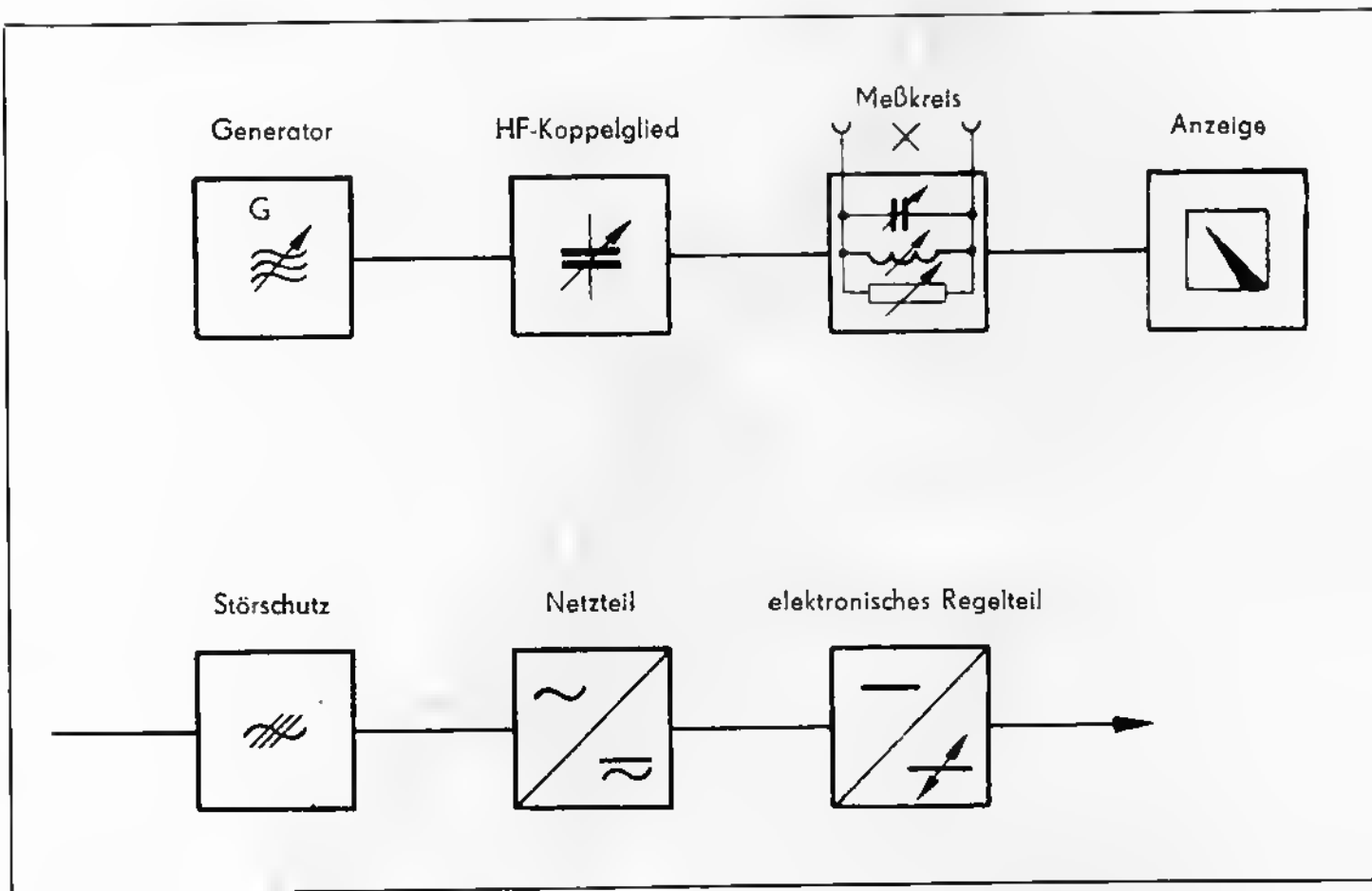
1.1. Verwendungszweck

Das Verlustfaktormeßgerät Typ 1033 dient zur Bestimmung des Verlustfaktors von Meßobjekten im Frequenzbereich 0,1 ... 10 MHz, deren Wirkkomponenten den Betrag zwischen 1 k Ω ... 200 M Ω annehmen und deren Blindkomponenten durch Kapazitäten von 1 ... 1000 pF bzw. Induktivitäten von entsprechender Größe dargestellt werden können. Außerdem kann der Scheinwiderstand beliebiger Zweipole vom einfachen Schichtwiderstand bis zum komplizierten Netzwerk durch Bestimmung von Wirk- und Blindkomponente ermittelt werden. Als Beispiel seien hier die Eingangswiderstände von Röhrenvoltmetern usw. angeführt. Weiterhin läßt sich der Resonanzwiderstand eines Schwingkreises für obigen Frequenzbereich mit dem Verlustfaktormeßgerät Typ 1033 unmittelbar messen, weil ein solcher Kreis im Resonanzfall einen reinen Wirkwiderstand darstellt. Ebenso können alle möglichen Einflüsse, die auf einen Resonanzkreis dämpfend oder auch verstimmend wirken, einzeln gemessen werden. Erwähnt sei noch, daß mit dem Verlustfaktormeßgerät Typ 1033 in bestimmten Grenzen Ein- und Ausgangsgrößen von Röhrenschaltungen bestimmt werden können.

Als Meßprinzip liegt dem Gerät das Substitutionsverfahren zugrunde. Einem als Meßkreis fungierenden, präzise aufgebauten Schwingkreis, dessen Elemente Induktivität, Kapazität und Dämpfungswiderstand variabel sind, wird ein Meßobjekt parallel geschaltet. Bei der gewünschten Meßfrequenz, die der eingebaute Generator liefert, wird der Kreis mit dem Meßobjekt auf Resonanz gebracht. Die HF-Spannung wird dem Meßkreis über einen variablen Koppelkondensator zugeführt. Eine Anzeigeschaltung gestattet das Einstellen eines bestimmten reproduzierbaren Spannungswertes. Wirk- und Blindanteil des Meßobjektes werden mittels der vorhandenen Substitutionsglieder nachgebildet. Die Substitutionsglieder sind geeicht, sie gestatten also das unmittelbare Ablesen der ermittelten Werte.

Die relativ einfache Bedienung, die kleinen Abmessungen und das verhältnismäßig niedrige Gewicht machen den Typ 1033 zu einem vielseitig verwendbaren Meßgerät für Labor, Fertigung und Prüffeld.

1.2. Blockschaltbild



1.3. Technische Kennwerte (Prüfattest)

1.3.1. Frequenzbereich	0,1 MHz ... 10 MHz unterteilt in 6 Bereiche
1.3.2. Bereich der nachbildbaren Blindkomponente	
1.3.2.1. kapazitiv	obere Grenze je nach Meßfrequenz 1000 pF bis ca. 8 MHz, ≥ 600 pF bei 10 MHz
1.3.2.2. induktiv	untere Grenze je nach Meßfrequenz 2 mH bei 0,1 MHz, 0,3 μ H bei 10 MHz
1.3.3. Bereich der nachbildbaren Wirkkomponente	1 k Ω ... 200 M Ω unterteilt in 3 Bereiche 1 k Ω ... 1000 k Ω 0,65 M Ω ... 10 M Ω 5 M Ω ... 200 M Ω
1.3.4. Fehlergrenzen	
1.3.4.1. Frequenz	$\pm 0,5\%$
1.3.4.2. Blindkomponente	$\pm 1\%$ ± 1 pF
1.3.4.3. Wirkkomponente	$\pm 5\%$ zuzüglich einer bei Wirkkomponenten > 100 k Ω wirksamen frequenzabhängigen Abweichung (siehe Abschnitt 2.3.3.1.)
1.3.5. Stromversorgung	110/120/220/240 V $\pm 10\%$, 50 Hz, 40 VA
1.3.6. Klimaschutzart	THA III TGL 9200
1.3.6.1. Arbeitstemperaturbereich	+ 5 °C ... + 40 °C
1.3.6.2. Transporttemperaturbereich	- 40 °C ... + 60 °C
1.3.6.3. Relative Luftfeuchte	max. 80 %
1.3.7. Mechanische Festigkeit	Prüfklasse St 6—12—1000 geprüft nach TGL 14283
1.3.8. Geräteabmessungen	540 \times 305 \times 255 mm
1.3.9. Masse	ca. 17 kg

Die vom Prüffeld (Gütekontrolle) am Gerät gemessenen Werte entsprechen den vorstehenden Angaben oder sind besser, sofern nicht besondere Eintragungen in den technischen Arbeitsunterlagen vorgenommen wurden.

Gerät Nr.: 1219



- 1.4. Zubehör** 1 Geräteanschlußschnur FS 402.12
- 1.4.1. Ergänzendes Zubehör*) 1 Aufnahmeeinrichtung
(Zeichn. Nr. 4129.001—00001)

*) Ergänzendes Zubehör gehört nicht zum Lieferumfang, es kann gegen besondere Berechnung geliefert werden.

1.5. Wirkungsweise und Aufbau

1.5.1. Definition des Verlustfaktors

Infolge dielektrischer Verluste ist jeder Kondensator mit einer ohmschen Komponente (Verlustwiderstand, Wirkanteil) behaftet. Das gleiche gilt auch für eine Induktivität, wobei hier der ohmsche Widerstand des Drahtes, der Skin-Effekt und eventuell Eisenverluste die Hauptursache für die ohmsche Komponente sind.

Das Ersatzschaltbild eines solchen Kondensators bzw. einer entsprechenden Induktivität zeigt das Bild 1. Entsprechend der Wirkungsweise des Gerätes wurde Parallelschaltung des Verlustwiderstandes angenommen.

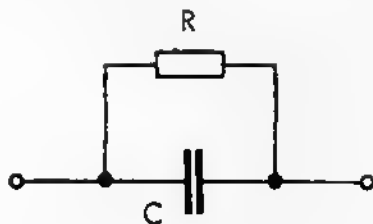


Bild 1

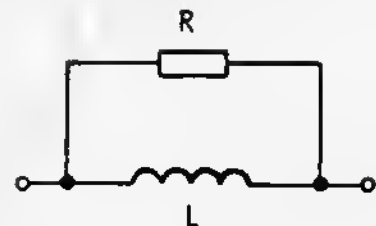


Bild 2 zeigt die Leitwert-Vektordiagramme der obigen Ersatzschaltungen.

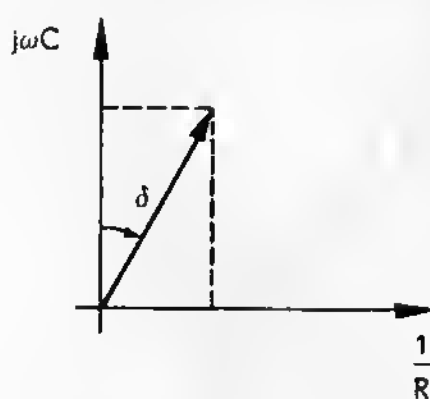
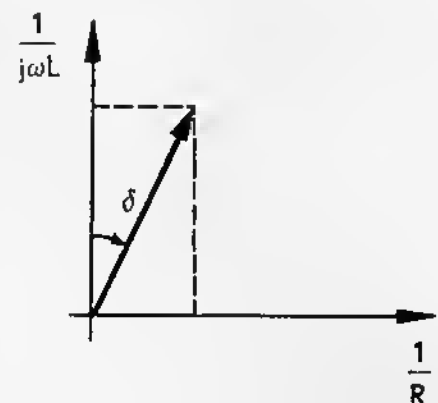


Bild 2



Daraus kann man ableiten:

$$\tan \delta = \frac{\frac{1}{R}}{\omega C}$$

$$\boxed{\tan \delta = \frac{1}{\omega C R}} \quad [1]$$

$$\tan \delta = \frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{\omega L}} = \frac{\omega L}{R} = Q$$

$$\boxed{Q = \frac{R}{\omega L}} \quad [2]$$

Das Verlustfaktormessgerät hat nun die Aufgabe, den Betrag der Wirkkomponente sowie den der Blindkomponente zu messen. Die unmittelbar abzulesenden Größen C und R gestatten somit die Berechnung des Verlustfaktors $\tan \delta$.

Eine induktive Blindkomponente ist mit dem Gerät zwar nicht unmittelbar zu messen, sie ist aber aus der negativen Kapazitätsänderung bei der Messung induktiver Meßobjekte abzuleiten (siehe unter 2.3.2., Gleichung [8]). Aus den Größen L und R , bzw. C und R direkt ist dann die Spulengüte Q errechenbar (siehe unter 2.3.2., Gleichung [10]).

1.5.2. Meßprinzip

Wie aus dem vorliegenden Blockschaltbild zu ersehen ist, besteht das Verlustfaktormeßgerät aus 3 Hauptbausteinen; dem Generator, dem Meßkreis und dem Anzeigeteil. Generator und Meßkreis sind durch einen speziellen, stetig regelbaren Koppelkondensator verbunden. Die nachstehende Ersatzschaltung veranschaulicht die Zusammenhänge.

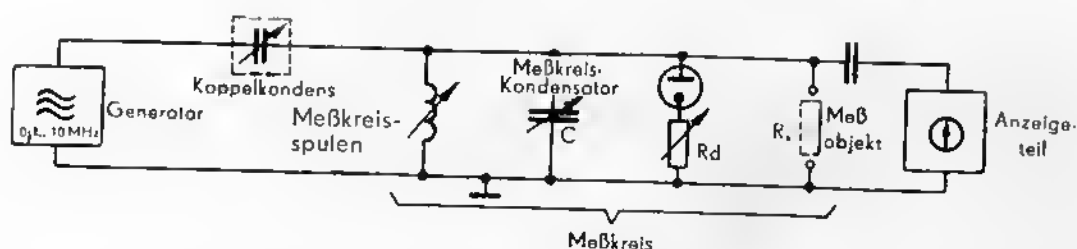


Bild 3.

Als Meßprinzip liegt dem Gerät das Substitutionsverfahren zugrunde. Das heißt, die Wirkkomponente eines Meßobjektes (z. B. eines normalen verlustbehafteten Kondensators) wird durch eine Widerstandsanordnung, die über den angegebenen Frequenzbereich frequenzunabhängig sein muß, ersetzt. Zur Substitution der Blindkomponente dient der geeichte Meßkreisdrehkondensator C . Als geeignetes Substitutionsglied für die Wirkkomponente wurde eine niederohmige Diode mit Belastungswiderstand in Reihe gewählt. Entsprechend den technischen Kennwerten (siehe 1.3.3.) sind Substitutionswiderstände von ca. $1 \text{ k}\Omega \dots 200 \text{ M}\Omega$ erforderlich. Um diese Bedingung erfüllen zu können, wurde die Differenzsubstitution gewählt. Der Arbeitswiderstand, mit abschaltbaren Festwiderständen für die hochohmigen Bereiche, liegt bei der Differenzsubstitution stets als Grundlast im Meßkreis. Hierdurch bleiben alle konstanten Nebenwirkgrößen und Nebenblindgrößen des Gleichrichtergliedes ohne Einfluß auf das Meßergebnis. Bekanntlich ist der Hochfrequenzwiderstand einer Diadenschaltung mit Arbeitswiderstand R_d in Reihe annähernd:

$$R_{HF} \approx \frac{R_d}{2} \quad [3]$$

Die am Meßkreis liegende Wirkkomponente R_x eines Meßobjektes liegt also nach obiger Beziehung mit ihrem doppelten Wert dem Reihenwiderstand der Diode R_d parallel. Aus dieser Parallelschaltung entsteht auf jeden Fall ein kleinerer neuer Widerstand R_a . Wenn man nun das Meßobjekt und damit dessen Wirkanteil, also R_x , entfernt, dann verschwindet auch die Parallelschaltung

$$R_a = \frac{R_d \cdot 2 R_x}{R_d + 2 R_x} \quad [4]$$

Es bleibt nur R_d übrig. Um auf den Meßkreis dieselbe Belastung auszuüben wie das Meßobjekt, kann man jetzt umgekehrt R_d bewußt auf den Wert der abigen Parallelschaltung, also auf R_a verkleinern. Das bedeutet, parallel zu R_d liegen scheinbar wieder $2 R_x$ bzw. der dem Wirkanteil des Meßobjektes entsprechende Ersatzwiderstand R_x . Die Größe des Ersatzwiderstandes ist aus

$$R_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_d \cdot R_a}{R_d - R_c} \quad [5]$$

unmittelbar zu errechnen.

Durch die bei stärker werdender Dämpfung des Meßkreises absinkende Güte für die Grundwelle der Meßkreisspannung, wird diese Gesetzmäßigkeit gestört. Bleibt nämlich der kapazitive Kreiswiderstand nicht beachtlich unter dem Resonanzwiderstand, dann werden die Oberwellenströme, welche durch den Einfluß der Diode im Kreis fließen, nicht mehr kurzgeschlossen, sondern erzeugen eine zusätzliche Spannung am Kreis. Die resultierende Meßkreisspannung, die nunmehr an der Diode wirksam wird, ist somit nicht mehr sinusförmig. Das hat zur Folge, daß der HF-Widerstand R_{HF} höherohmig gemessen wird. $R_{HF} > R_d/2$. Bei einer Meßkreisgüte von 15 sind die gemessenen Wirkwiderstände um höchstens 2 % größer als die, die sich bei Meßkreisgüte 100 ergeben. Dieser Fehler ist in den Fehlergrenzen der Wirkkomponente (siehe 1.3.4.3.) berücksichtigt, sofern man die Grenzen des R-Meßbereiches unter 2.3.3. einhält.

Ein Teil der im Generator erzeugten HF-Spannung wird über den regelbaren Koppelkondensator, HF-Spannungsregler „grob“, dem Meßkreis zugeführt. Dieser wird mit dem Meßobjekt zusammen auf Resonanz abgestimmt und am Anzeigeinstrument die Meßspannung, etwa 7 ... 8 V (entspricht 0 auf der Instrumentenskala), eingestellt.

Nach Entfernung des Meßobjektes muß mit dem Meßkreiskondensator wieder auf Resonanz abgestimmt werden. Die mit dem Meßobjekt entfernte Dämpfung des Meßkreises bewirkt eine Spannungserhöhung am Kreis. Durch Belasten des Meßkreises mit dem Arbeitswiderstand der Diode wird die gleiche Meßspannung, also wieder die 0, wie vorher eingestellt. Damit ist die Wirkkomponente des Meßobjektes durch eine Verkleinerung des Diodenwiderstandes ersetzt.

1.5.3. Beschreibung der Bausteine

1.5.3.1. Generator

Der mit Röhre 101 (EL 95) ausgerüstete Generator erzeugt die Meßspannung. Er arbeitet in normaler Rückkopplungsschaltung, ist elektrisch und mechanisch stabil aufgebaut und garantiert daher eine gute Amplituden- und Frequenzkonstanz. Die Einlaufzeit ist durch Temperaturkompensation auf ein Minimum reduziert. Heizspannung und Anodenspannung sind elektro-nisch stabilisiert.

Durch den Betrieb der Generatorröhre mit nur etwa halber Nennlast bei relativ niedriger Anodenbetriebsspannung wird die Stabilität des Schwingzustandes verbessert. Außerdem wirkt sich dieser Umstand auf die Lebensdauer der Röhre günstig aus.

1.5.3.2. Koppelkondensator

Durch den Koppelkondensator C 123 ist der Generator mit dem Meßkreis verbunden. Dieser Koppelkondensator hat einen Regelbereich von ca. 0,002 pF ... ca. 9 pF. Seine Eingangskapazität ist über den Drehwinkel von ca. 180° annähernd konstant, so daß die Rückwirkung auf den Generator sehr klein bleibt und die Frequenzzeichnung praktisch nicht beeinflußt wird. Der etwas größere Einfluß der Ausgangskapazität auf den Meßkreis läßt sich ohne weiteres durch Nachstimmen desselben eliminieren.

1.5.3.3. Meßkreis

Der Meßkreis besteht aus den 3 Grundelementen:

Meßkreisinduktivität,

dazu gehören die Spulen Sp 201 ... Sp 214;

Meßkreiskapazität,

gebildet aus dem Meßkreisdrehkondensator C 203, aus C 204 und verschiedenen Nebenkapazitäten;

frequenzunabhängiger Dämpfungswiderstand,

gebildet aus R 501, den Schaltern S 501 und 502 sowie den auf einer Leiterplatte untergebrochenen Widerständen R 301 ... 309.

An die Güte und Konstanz der Spulen werden keine besonderen Anforderungen gestellt, weil die Verluste der Spulen durch das Prinzip der Differenzsubstitution eliminiert werden. — Die Anschlußklemmen bilden mit dem Stator des Meßkreiskondensators bzw. mit der Massebrücke dieses Kondensators eine Einheit. Dadurch wird die Induktivität der Klemmen extrem klein. Es wurde schon erwähnt, daß die Verluste des Drehkondensators C 203, soweit sie durch einen Parallelwiderstand darstellbar sind, auf die Meßgenauigkeit keinen Einfluß haben. Der Reihenverlustwiderstand verfälscht allerdings die Wirkkomponente und damit den Verlustfaktor eines Meßobjektes. Bei der Konstruktion des Drehkondensators wurde ganz besonderer Wert auf kleinsten Reihenverlustwiderstand gelegt. Seine Skala ist entsprechend der Kapazitätsvariation von 0 ... 1000 pF geeicht. Zur genaueren Ablesung ist der Kapazitätsverlauf zwischen 0 und 200 pF gedehnt. Die Anfangskapazität des Meßkreises beträgt ca. 120 pF. Zur Vermeidung von unerwünschten Verkopplungen und zur Verringerung der Störspannung ist der Meßkreisbaustein durch eine Haube statisch geschirmt.

1.5.3.4. Frequenzunabhängiger Dämpfungswiderstand

Mit dem frequenzunabhängigen Dämpfungswiderstand wird noch Abklemmen des Meßobjektes dessen Wirkkomponente nachgebildet. Er wird durch den Eingangswiderstand des Gleichrichtersystems aus Rö 201 und dem Reihenwiderstand R 501 mit den auf der Leiterplatte angeordneten Vor- und Abgleichwiderständen, gebildet. R 501 ist ein Wendepotentiometer und ist als Regler für die Meßkreisbedämpfung (9) von der Frontplatte aus zu bedienen. Zu ihm gehört die in k Ω bzw. M Ω geeichte dreiteilige Skala (6). Mit dem Schalter S 501 können die sich auf erwähnter Leiterplatte befindlichen Vorwiderstände R 307 / R 309 und R 306 / R 308 zur Bereichserweiterung in Reihe zu R 501 gelegt werden.

1.5.3.5. Anzeigeteil

Zur Anzeige der Resonanzspannung bzw. deren Änderung dient das Anzeigeteil. Es besteht aus der sich im Meßkreisbaustein befindlichen Anzeigediode EA 960 (Rö 401), dem sorgfältig kompensierten Gleichstromverstärker auf Leiterplatte b sowie dem Anzeigeinstrument Ms 501. Letzteres ist ein Drehspulinstrument in Spannbandausführung. Die dadurch entfallende Lagerreibung erhöht besonders bei hochohmigen Meßobjekten die Meßgenauigkeit. Ebenfalls bei hochohmigen Meßobjekten muß das Anzeigeteil unter Umständen nach auf sehr kleine Resonanzspannungsänderungen reagieren. Eine verwertbare Ausschlagsänderung ($\pm 0,2$ Skalenteile) setzt bei entsprechend hoher Empfindlichkeit eine große Konstanz des Systems voraus. Diese wird außer durch stabilisierte Heiz- und Anodenspannung noch dadurch erreicht, daß im Kompensationszweig des Gleichstromverstärkers das zweite Röhrensystem der Rö 401 (ECC 85) eventuell Schwankungen der Betriebsgrößen ausgleicht. Da das Instrument nur die Resonanzspannungsänderung zur Anzeige bringen soll, wird die durch die Meßkreisspannung erzeugte Richtspannung kompensiert, und zwar wird dem Gitter von Rö 401 eine positive Spannung zugeführt. Eine Veränderung der Größe dieser Spannung hat übrigens am Anzeigeinstrument dieselbe Wirkung wie eine Änderung der dem Meßkreis zugeführten Generatorspannung mittels Koppelkondensator C 123. Die positive Kompensationsspannung ist daher variabel und von außen mit dem HF-Spannungsregler „fein“ (17) R 504 einzustellen. Für die letzte Korrektur zur Erreichung der Null bei abgestimmtem Meßkreis wird man sich also dieser Möglichkeit bedienen, zumal durch Änderung der Kompensationsspannung keinerlei Rückwirkung auf den Meßkreis erfolgen kann. Das Spannband-Drehspulinstrument ist gegen Überlastung durch eine Begrenzerschaltung mit Richtleitern geschützt. In dieser Schaltung nimmt die Empfindlichkeit des Instrumentes von dem in der Mitte liegenden Nullpunkt nach beiden Seiten hin praktisch bis auf Null ab. In der Nähe des Instrumentennullpunktes ist die Empfindlichkeit maximal (ca. 5 mV/Skt).

1.5.3.6. Stromversorgungsteil

Die zum Betrieb des Gerätes notwendigen Betriebsspannungen werden dem hochkonstanten elektronisch stabilisierten Anodenstromversorgungsteil sowie der ebenfalls elektronisch stabilisierten, transistorisierten Heizstromquelle entnommen. Beide Regelteile befinden sich auf der Leiterplatte b (Bild 9). Diese Leiterplatte ist nach Lösen der Befestigungsschrauben um ca. 90° herausschwenkbar. Dadurch sind sämtliche Bauelemente bequem zugänglich. Die zum Regelteil für die Heizspannung gehörenden Transistoren T 501 und T 502 befinden sich auf der Montageplatte des Gerätes.

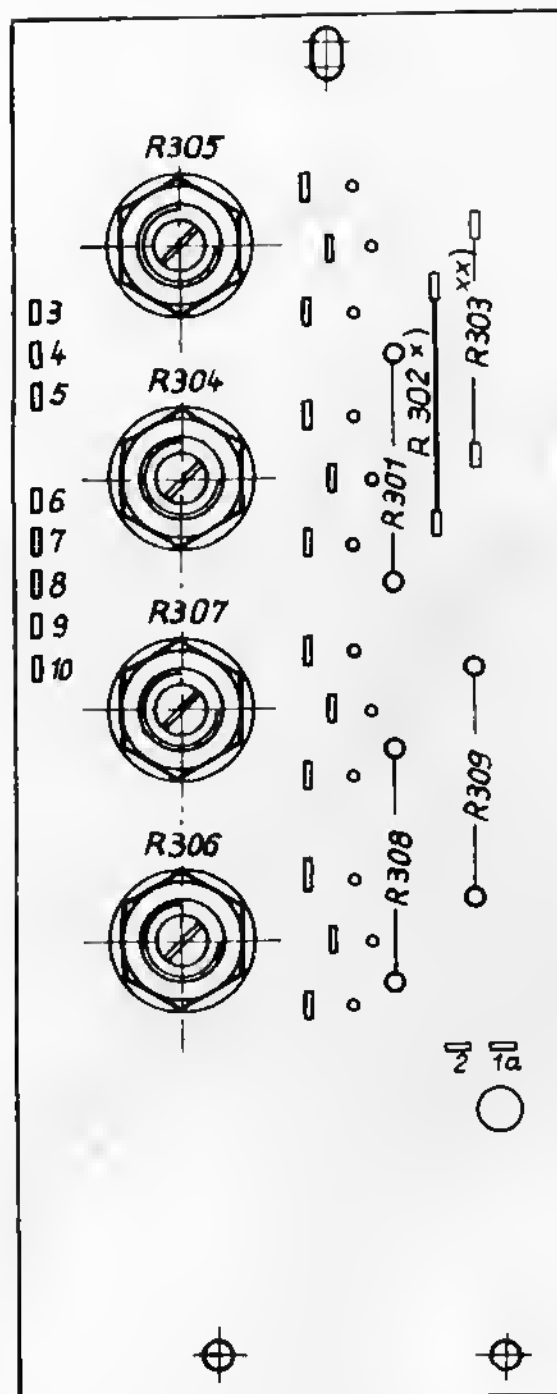
1.5.3.6.1. Anodenstromversorgung

Die vom Netztransformator Tr 501 gelieferte Anodenwechselspannung wird durch die Siliziumdioden Gr 431 und Gr 432 in Zweiweggleichrichtung gleichgerichtet und dem elektronischen Regelsystem, bestehend aus den Hauptelementen Rö 431, Rö 432 und Gl 431 zugeführt. Am Ausgang des Regelsystems steht eine stabile Anodenbetriebsspannung von ca. 160 V zur Verfügung. Zur Orientierung sei erwähnt, daß mittels R 431 dieser Spannungspegel von Hand verändert werden kann.

1.5.3.6.2. Heizstromversorgung

Hier erfolgt die Gleichrichtung der vom Netztransformator Tr 501 über Si 504 gelieferten Wechselspannung durch die Germaniumgleichrichter Gr 501 und Gr 502. Auf der Leiterplatte b ist das hochstabile elektronische Regelsystem untergebracht. T 501 fungiert als Regeltransistor, T 502, T 411 und T 412 sowie die beiden Zenerdioden ZD 411 und ZD 412 sind die Hauptteile des Steuerverstärkers. Die am Ausgang des Regelsystems stehende Gleichspannung von 6,3 V zur Heizung der Röhren R_a 101, R_a 201, R_a 202 und R_a 401 des Gerätes wird bei Schwankung der Netzspannung um $\pm 10\%$ auf ca. $\pm 0,1\%$ konstant gehalten. Durch die Sicherung Si 505 wird die Regelstufe vor Kurzschluß von außen geschützt. Die Heizspannung läßt sich bei Bedarf mittels R 414 nachregeln. — Beim Erneuern der Sicherung Si 505 ist darauf zu achten, daß die Nennstromstärke 1 A (träge) keinesfalls überschritten wird, da sonst bei Kurzschluß eine Zerstörung von Transistoren und Dioden erfolgen kann.



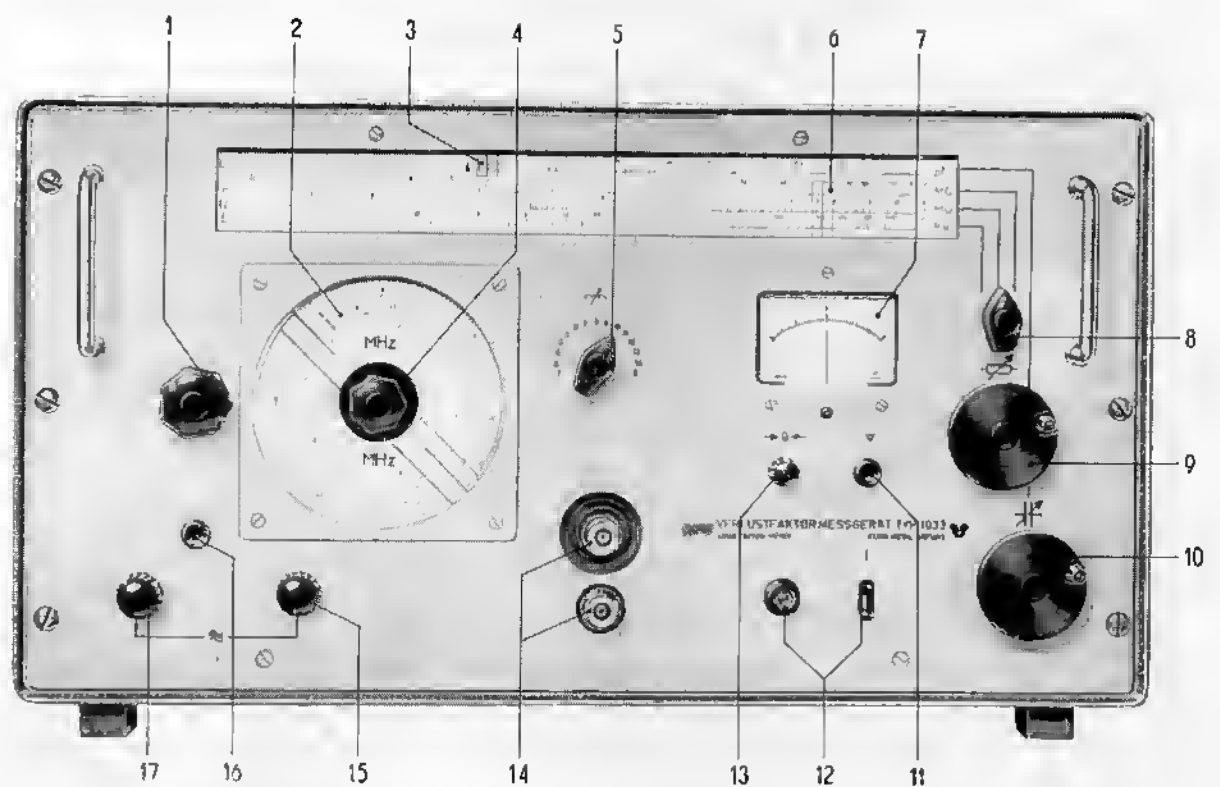


*) R 302 Kurzschlußbrücke wird bei Bedarf ($R_{501} < 100 \text{ k}\Omega$) vom Prüffeld durch Widerstand ersetzt.

**) R 303 wird nur bei Bedarf ($R_{501} < 100 \text{ k}\Omega$) vom Prüffeld eingesetzt.








Bestückungsplan zur Leiterplatte vollst. Zeichn. Nr. 4122.007—01005

2. Bedienanweisung



Vorderansicht des Gerätes

Erläuterungen zur Vorderansicht und zum Text

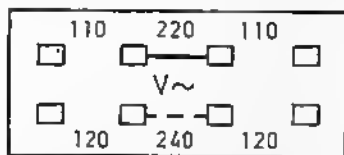
	1 Bereichschalter für Generator S 101
	2 Frequenzskala mit Frequenzbereichsanzeige
	3 Skala für Meßkreiskondensator
	4 Frequenzeinstellung C 106
	5 Bereichschalter für Meßkreisinduktivität
	6 Skala für Meßkreisbedämpfung
	7 Anzeigeinstrument Ms 501
	8 Bereichschalter für Meßkreisbedämpfung S 501
	9 Regler für Meßkreisbedämpfung R 501
	10 Antriebskurbel für Meßkreisdrehkondensator C 203
	11 Drucktaste für Nullpunktkorrektur S 503
	12 Netzschalter und Betriebsanzeigelampe S 505 / GI 501
	13 Nullkorrekturregler R 506
	14 Anschlußklemmen für Meßobjekt
	15 HF-Spannungsregler, grob C 123
	16 Drucktaste zum schnelleren Auffinden der Resonanzstelle S 504
	17 HF-Spannungsregler, fein R 504

Die Bezeichnungen der Bedienelemente entsprechen denen im Stromlaufplan.

Die Positionszahlen der Bedienelemente werden im Text in runden Klammern aufgeführt.

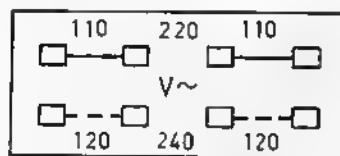
2.1. Einstellen auf örtliche Netzspannung

Das Gerät wird vom Herstellerwerk auf 220 V Netzspannung eingestellt. Zur Spannungsumschaltung muß bei ausgebautem Gerät die Kurzschlußbrücke am Umschalibrett umgelötet werden; siehe bildliche Darstellung.



Netzspannung bei 220 V ———

Netzspannung bei 240 V - - -



Netzspannung bei 110 V ———

Netzspannung bei 120 V - - -

Im Netzspannungsbereich von 220...240 V sind Sicherungen 0,4 A (träge) (Si 501 und Si 502) einzusetzen. Im Netzspannungsbereich von 110...120 V müssen Sicherungen von 0,8 A (träge) eingesetzt werden. Die Sicherungen befinden sich im Inneren des Gerätes in der Nähe des Netzeinganges.

2.2. Inbetriebnahme

Vor Inbetriebnahme ist zu kontrollieren, ob der Zeiger des Anzeigeinstrumentes (7) auf Null (mechanischer Nullpunkt) steht. Bei Abweichung ist die Stellschraube am Instrument (7) nachzustellen. Der Anschluß an das Netz erfolgt über das mitgelieferte dreiadrige Schutzkontaktanschlußkabel. Nach dem Einschalten mit dem Netzschalter (12) ist die Betriebsbereitschaft am Aufleuchten der sich daneben befindlichen Glühlampe zu erkennen. Nach ca. 5 Minuten Einlaufzeit ist das Gerät meßbereit. Ist es beabsichtigt, Meßobjekte mit hochahmigem Wirkanteil zu messen, dann ist es zweckmäßig, das Gerät etwa 20 Minuten einlaufen zu lassen. Der Generator sollte dabei bereits auf die gewünschte Meßfrequenz geschaltet werden. Außerdem empfiehlt es sich, wegen der hohen Anzeigeempfindlichkeit, bei Umschaltung des Frequenzbereiches im Falle hochahmiger Meßobjekte nochmals eine Einlaufzeit des Generators von mindestens 10 Minuten einzuhalten.

2.3. Meßvorgang

Der Meßvorgang besteht aus zwei Abschnitten. Im ersten Abschnitt ist das Meßobjekt angeschlossen, im zweiten wieder entfernt.

2.3.1. Erster Abschnitt der Messung

Zunächst wird das Meßobjekt an die Anschlußklemmen (14) angeschlossen. Hierbei ist zu beachten, daß das Anklemmen großflächig und einwandfrei erfolgt. Das Massepotential des Meßobjektes wird mit der unteren Anschlußklemme verbunden. Dann bringt man den Regler für Meßkreisbedämpfung (9) auf ∞ , abgelesen auf der Skala (6), und wählt mit dem Bereichschalter für die Meßkreisbedämpfung (8) den Meßbereich, in welchem die zu messende Wirkkomponente liegen könnte. Für die Einstellung der C-Skala (3) ist das Vorzeichen

der Blindkomponente des Meßobjektes ausschlaggebend. Zur weiteren Erläuterung des ersten Abschnittes der Messung soll angenommen werden, es handele sich z. B. um ein kapazitives Meßobjekt, dessen Verlustfaktor $\tan \delta_x$ bestimmt werden soll. Hierbei stellt man den Meßkreisdrehkondensator (10) auf einen Kapazitätswert zwischen 50 und 100 pF, abzulesen an der Skala (3). Die gewünschte Meßfrequenz wird, falls sie nicht schon zwecks Einlaufen eingestellt war, mit dem Drehknopf (4) „Frequenzabstimmung“ eingestellt, nachdem der entsprechende Bereich mit dem Bereichsschalter für den Generator (1) gewählt worden war. Den jeweils eingeschalteten Frequenzbereich zeigt ein Pfeil an, welcher in einem kleinen Fenster der Frequenzskala (2) sichtbar ist. Danach wird das Anzeigeinstrument (7) auf Null eingestellt, indem man unter Drücken der Taste (11) den Regler (13) betätigt. Jetzt wird der Meßkreis auf Resonanz gebracht. Dazu sind der HF-Spannungsregler „fein“ (17) auf Mittelstellung zu bringen und der HF-Spannungsregler „grob“ (15) etwa zur Hälfte aufzudrehen.

Das Auffinden der Resonanzstelle wird durch die Taste (16) außerordentlich leicht gemacht. Bei gedrückter Taste ist die positive Spannung, mit welcher der durch die Meßkreisspannung erzeugte Grundausschlag des Instrumentes (7) kompensiert wird (es soll ja nur die Änderung dieser Spannung beobachtet werden), abgeschaltet. Hierbei steht der Zeiger des Instrumentes auf Null oder, sofern bereits schon eine kleine Spannung in den Kreis gekoppelt wird, etwas rechts daneben.

Das Instrument zeigt nunmehr die durch die Spannung am Meßkreis entstehende negative Richtspannung unmittelbar an. Auf diese Art ist die Annäherung an die Resonanzstelle beim Durchschalten der Meßkreisinduktivitäten (5) in weiten Grenzen zu erkennen. Hat man die Spule gefunden, bei welcher der größte Instrumentenausschlag auftritt, dann läßt sich, immer noch bei gedrückter Taste (16), durch Rechts- oder Linksdrehen des Meßkreiskondensators (10) die Lage der Resonanzstelle endgültig erkennen. Sollte es sich ergeben, daß die Resonanzstelle nicht zu erreichen ist, und der Meßkreiskondensator (10) auf 0 pF steht, dann wird der Bereichsschalter für die Meßkreisinduktivität auf die nächst kleinere Ziffer geschaltet und der Abstimmvorgang wiederholt. Erst in unmittelbarer Nähe der Resonanzspitze wird die Taste (16) losgelassen und die Resonanzeinstellung vollendet. Wenn nach Loslassen der Taste (16) der Zeiger des Instrumentes am rechten Anschlag steht, dann unter langsamem Verkleinern der HF-Spannung, durch Zurückdrehen des HF-Spannungsreglers „grob“ (15) und ständigem Nachstimmen des Meßkreiskondensators (10) Resonanz herstellen. Der Instrumentenzeiger steht jetzt ungefähr in der Mitte der Skala, nahe der Null. Mit dem HF-Spannungsregler „fein“ (17) muß nunmehr die Null eingeregelt werden. —

Damit ist der erste Abschnitt der Messung abgeschlossen. An den beiden Spannungsreglern, an der Meßfrequenz, an dem Bereichsschalter für die Meßkreisinduktivitäten (5) sowie am Bereichsschalter für die Meßkreisbedämpfung (8) darf nun bis zum Abschluß des zweiten Meßabschnittes nichts mehr verändert werden. Der Kapazitätswert C_1 , welcher auf der Skala (3) abzulesen ist, wird notiert. Obwohl das Gerät eine hervorragende Kurzzeitstabilität aufweist, ist es empfehlenswert, besonders bei Meßobjekten mit sehr hochohmiger Wirkkomponente, den zweiten Abschnitt der Messung zügig nach dem ersten in Angriff zu nehmen. Die Messung eines Objektes mit induktiver Blindkomponente entspricht bis auf die Einstellung des Meßkreiskondensators (10) der obigen Beschreibung. Ein Hilfsschema für diese Einstellung wird unter 2.3.5. gegeben.

2.3.2. Zweiter Abschnitt der Messung

Das Meßobjekt wird abgeklemmt und die Schrauben ungefähr wieder in die Lage gebracht, welche sie mit dem Meßobjekt hatten. Mit dem Meßkreiskondensator (10) wird nun der Blindanteil ersetzt, das heißt, wieder auf Resonanz abgestimmt. Im vorliegenden Beispiel muß also ein kapazitiver Anteil ersetzt werden. Beim Meßobjekt mit relativ niedriger Wirkkomponente ist die Spannungsänderung durch das Abklemmen so hoch, daß der Zeiger des Instrumentes (7) fast am Anschlag liegt und eine scharfe Abstimmung nicht mehr möglich ist. In solchen Fällen reduziert man die Spannung nach Bedarf, indem man den Regler für die Meßkreisbedämpfung (9) vom ∞ -Wert nach kleineren Werten dreht. Die scharfe Abstimmung ist dann leicht durchführbar. — Der auf Skala (3) ablesbare Kapazitätswert, er sei C_2 genannt, wird wieder notiert. Die Meßkreisbedämpfung wird nun so groß gemacht, daß der Zeiger des Instrumentes wieder auf Null zu stehen kommt, also die Meßkreisspannung wieder ihren alten Wert hat. Damit ist auch der Wirkanteil des Meßobjektes ersetzt. Sein Wert sei R_M genannt und ist an der R-Skala (6) abzulesen. Die Differenz der notierten Kapazitätswerte C_2 und C_1 ergibt den Blindanteil des Meßobjektes, er wird C_M genannt, in pF.

$$C_2 - C_1 = C_M \quad [6]$$

Man muß nun, sofern die Meßfrequenz > 1 MHz ist, die Größen R_M und C_M mit Hilfe der Korrekturkurven 1 und 2 in die wirksamen Werte C_x und R_x umrechnen (siehe Meßbeispiele unter 2.3.9.). Mit diesen Werten läßt sich der Verlustfaktor des hier betrachteten kapazitiven Meßobjektes errechnen.

$$\tan \delta_x = \frac{1}{\omega C_x \cdot R_x} \pm \Delta \tan \delta \quad [7]$$

Der in dieser Gleichung auftretende Wert $\Delta \tan \delta$ ist ebenfalls nur bei Meßfrequenzen > 1 MHz von Interesse und kann der Korrekturkurve 3 entnommen werden. —

Sollte sich im zweiten Abschnitt der Messung herausstellen, daß die Größe der Wirkkomponente mit dem eingeschalteten R-Meßbereich nicht ersetzbar ist, also über oder unter den Grenzen des Bereiches liegt, so muß noch Umschaltung des R-Meßbereiches (8) der gesamte Meßvorgang wiederholt werden. Das ist unumgänglich, da sich mit der Umschaltung die Grunddämpfung des Kreises ändert. —

Hat das Meßobjekt eine induktive Blindkomponente, dann erreicht man nach Abklemmen desselben die Resonanzspitze der Meßspannung prinzipiell durch Verkleinern der Meßkreis-kapazität (10) wieder. In diesem Fall wird $C_2 < C_1$, C_M also negativ. Dieses negative Vorzeichen ist das Symbol für eine induktive Blindkomponente und muß bei der Benutzung der Korrekturkurven beachtet werden. Ansonsten interessiert nur der Betrag C_M . Der Ersatz der Wirkkomponente erfolgt wie bei Meßobjekten mit kapazitiver Blindkomponente. Man erhält R_M bzw. R_x wie beim Messen eines kapazitiven Meßobjektes beschrieben. Die Größe der Induktivität des Meßobjektes errechnet sich nach:

$$L_x = \frac{1}{\omega^2 \cdot C_M} - L_{S1} \quad [8]$$

wobei L_{S1} die Induktivität der Anschlußstutzen ist (siehe 2.3.7.1.).

Nach:

$$Q' = \frac{R_x}{\omega L_x} \quad [9]$$

oder direkt mit:

$$Q' = R_x \cdot \omega C_M \cdot \frac{1}{1 - \omega^2 C_M L_{St}} \quad [10]$$

läßt sich die Güte des Meßobjektes ermitteln (siehe auch 2.3.9., Meßbeispiele). Auch hier ist bei Meßfrequenzen > 1 MHz zu prüfen, ob eine Korrektur mittels Korrekturkurve 3 erforderlich ist. Es gilt in diesem Fall

$$Q_y = \frac{1}{\frac{1}{Q'} - \Delta \tan \delta} \quad [11]$$

2.3.3. Grenzen des R-Meßbereiches

Wie unter 1.5.2. erläutert wurde, muß beim Messen relativ niederohmiger Wirkkomponenten beachtet werden, daß die Güte des Meßkreises durch das Anschließen des Meßobjektes nicht den Wert 15 unterschreiten darf. Wird diese durch die Art der Wirkwiderstandsnachbildung gegebene Bedingung nicht eingehalten, so ergibt sich ein zusätzlicher Fehler, der, je nachdem wie weit man die Grenze unterschreitet, mehr als -20% betragen kann. Auch die Blindkomponente wird dann verfälscht. Zur allgemeinen Orientierung dient Bild 4. Es zeigt zwischen den beiden Grenzkurven den R-Meßbereich, welcher von dem Gerät überhaupt erfaßt wird. Das Bild 5 dagegen gibt genaue Auskunft über die untere Grenze des Meßbereiches für die Wirkkomponente in Abhängigkeit von der Frequenz und den Meßkreisspulen. Bei der Wahl der Meßkreisspule ist darauf zu achten, daß der Wirkanteil R_x oberhalb der im Diagramm eingezeichneten Sp-Geraden der jeweils eingeschalteten Meßkreisspule liegt.

Soll beispielsweise bei einer Frequenz von 400 kHz ein Objekt mit einem Wirkwiderstand von ca. $30 \text{ k}\Omega$ gemessen werden, so ist aus dem Bild 5 ersichtlich, daß für die Frequenz von 400 kHz die Meßkreisspulen 9, 10 und 11 zuständig sind, da die Geraden dieser 3 Meßkreisspulen von der 400-kHz-Netzlínie geschnitten werden.

Der Schnittpunkt der 400-kHz-Netzlínie mit der $30\text{-k}\Omega$ -Netzlínie liegt unterhalb der Sp-11- und Sp-10-Geraden, jedoch oberhalb der Sp-9-Geraden. Das heißt, bei Benutzung von Sp 11 oder Sp 10 ist die untere Meßbereichsgrenze für die Wirkkomponente unterschritten; das Ergebnis ist mit einem unzulässig hohen Fehler behaftet. Mit Sp 9 hingegen werden die angegebenen Fehlergrenzen eingehalten. Der untere R_x -Grenzwert für eine Messung mit Sp 9 bei der Frequenz von 400 kHz beträgt, wie das Diagramm zeigt, ca. $15 \text{ k}\Omega$.

Weiterhin erkennt man aus der Darstellung, daß bei Meßfrequenzen $< 150 \text{ kHz}$ praktisch nur Widerstände $> 1 \text{ M}\Omega$ zulässig sind, also stets die $\text{M}\Omega$ -Bereiche (8) benutzt werden müssen. Das gleiche gilt bei Benutzung der Meßkreisspulen 13 und 14 (5).

Die im Bild 4 angegebene „obere Grenze“ ist nur vorhanden, weil bei höchstohmigen Wirkwiderständen die Änderung der Meßkreisspannung so klein ist, daß sie am Instrument nicht mehr eindeutig festgestellt werden kann. Die Ursache für die immer kleiner werdende Änderung ist der immer kleiner werdende Einfluß eines im Verhältnis zum Resonanzwiderstand des Meßkreises hochohmigen Meßobjektes auf den resultierenden Resonanzwiderstand des Meßkreises im Meßfall. Da mit steigender Frequenz bzw. fallendem L/C-Verhältnis der Resonanzwiderstand des Meßkreises ohne Meßobjekt kleiner wird, muß auch der Wirkanteil des Meßobjektes immer kleiner werden, um am Instrument (7) einen beobachtbaren Effekt hervorzurufen. Als „noch ablesbar“ wird, wie allgemein üblich, ein Ausschlag von $\pm 0,2$ Skalenteilen bzw. Teilstrichen betrachtet.

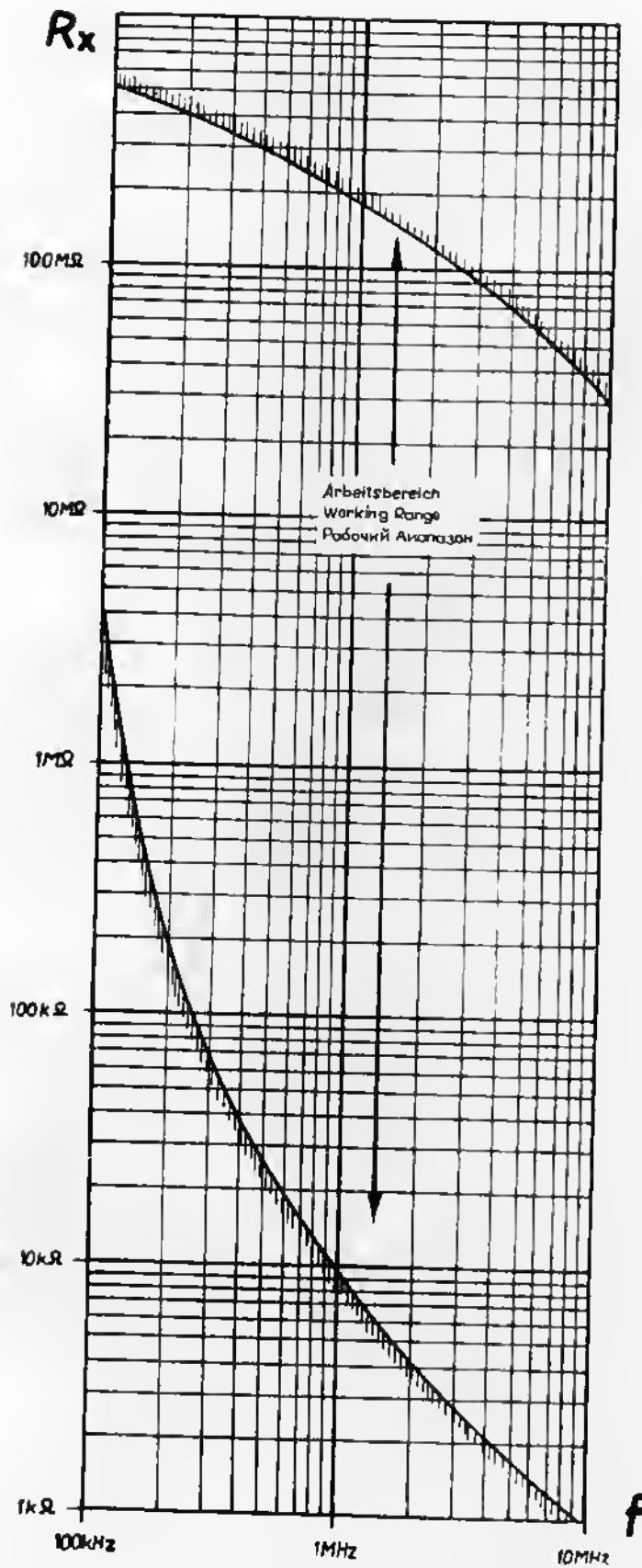


Bild 4 Meßbereichsgrenzen für die Wirkkomponente in Abhängigkeit von der Frequenz

Graph 4 Measuring range limits for the active component versus the frequency

Рис. 4 Пределы диапазонов измерения для активной составляющей в зависимости от частоты

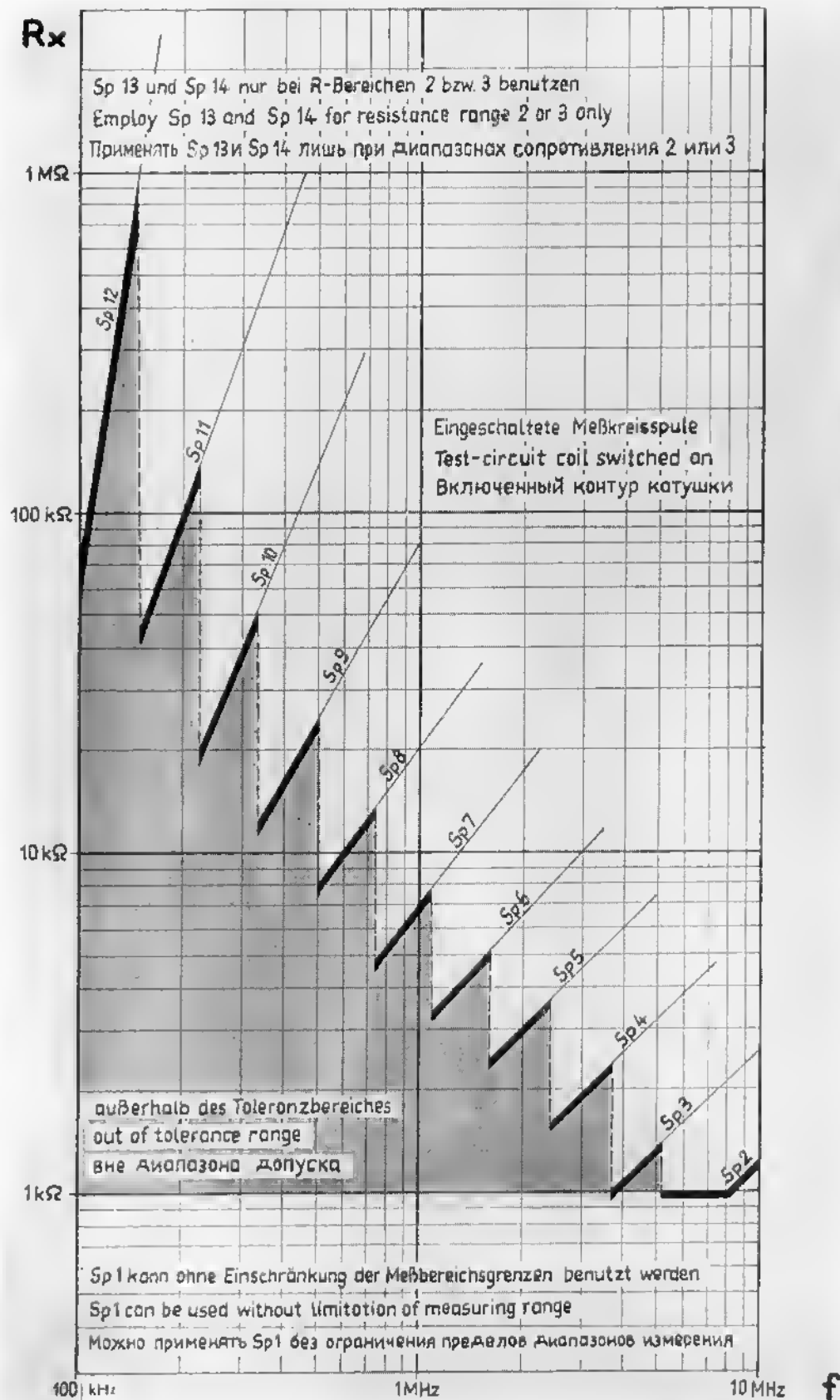


Bild 5 Untere Meßbereichsgrenze für die Wirkkomponente in Abhängigkeit von der Frequenz und von den Meßkreisspulen

Graph 5 Lower measuring range limit for the active component versus the frequency and test-circuit coils

Рис. 5 Нижний предел диапазонов измерения в зависимости от частоты и от контурных катушек

2.3.3.1. Fehlergrenzen der Wirkkomponente

Durch die Festlegung einer als gerade noch ablesbar geltenden Ausschlagänderung am Instrument (7) von $\pm 0,2$ Skalenteilen, läßt sich in Abhängigkeit von der Frequenz ein parallel zum Meßkreis zu denkender Widerstand R_p angeben, bei welchem die obige Bedingung erfüllt wird, bei dessen Entfernung oder Zuschaltung also eine Ausschlagsänderung von $\pm 0,2$ Skalenteilen entstünde. Dieser Widerstand stellt ein Äquivalent für die Einstellunsicherheit dar, mit der theoretisch in jedem Meßfall zu rechnen ist.

Der Einfluß von R_p kann positiv oder negativ sein, d. h. er kann verkleinernd oder vergrößernd auf das Meßergebnis R_x wirken, je nachdem, ob man die Null des Instrumentes nach links oder rechts um 0,2 Skalenteile verfehlt hat.

Die in den „Technischen Kennwerten“ Seite 8 angegebene Fehlergrenze für die Wirkkomponente von $\pm 5 \text{ ‰}$ setzt sich zusammen aus dem Eichfehler, der Ableseungenauigkeit sowie dem Fehler, bedingt durch Alterung des frequenzunabhängigen Dämpfungswiderstandes (Diode mit Arbeitswiderständen).

Bild 6 gibt Auskunft über die Größe von R_p in Abhängigkeit von der Frequenz und dem Resonanzwiderstand des Meßkreises als Parameter mit einer für den praktischen Gebrauch ausreichenden Genauigkeit.

Die untere Kurve ist gültig, wenn man mit dem bei der jeweiligen Meßfrequenz minimalen Resonanzwiderstand (Meßkreisspule mit der für die gewählte Frequenz kleinstmöglichen Induktivität) arbeitet.

Die obere Kurve gilt für den maximalen Resonanzwiderstand (Meßkreisspule mit der größtmöglichen Induktivität). —

Gestattet die Blindkomponente des Meßobjektes die Benutzung einer beliebigen Meßkreisspule (z. B. bei Schichtwiderständen), dann wird man also bei relativ hochohmigen Widerständen die Resonanzstelle mit größerer Induktivität bzw. kleinerer Kapazität bei der Messung vorziehen. Vollkommen bedeutungslos wird der Einfluß der Einstellunsicherheit sobald der Wirkwiderstand eines Meßobjektes viel kleiner als der bei einer bestimmten Frequenz aus dem Diagramm (Bild 6) entnehmbare Wert R_p ist.

Um für einen bestimmten Meßfall die zusätzliche Abweichung des Meßwertes R_x vom wirklichen Wert des Meßobjektes zu ermitteln, verfährt man nach folgendem Schema:

Es sei:	Meßfrequenz	$f = 10 \text{ MHz}$
	Gemessener und nach 2.3.7.	
	korrigierter Wirkanteil	$R_x = 2 \text{ M}\Omega$
	Nr. der verwendeten Meßkreisspule	
	(möglich sind Spulen 1 ... 3)	2
	Aus dem Diagramm (Bild 6)	
	entnommener Wert für Spule 2	$R_p \approx \pm 60 \text{ M}\Omega$

Damit erhält man:

$$R_{x1,2} = \frac{R_x \cdot R_p}{R_x \pm R_p} \quad [12]$$

$$R_{x1} = \frac{2 \cdot 60}{2 + 60} = \frac{120}{62} = 1,93 \text{ M}\Omega$$

$$R_{x2} = \frac{-2 \cdot 60}{2 - 60} = \frac{-120}{-58} = 2,07 \text{ M}\Omega$$

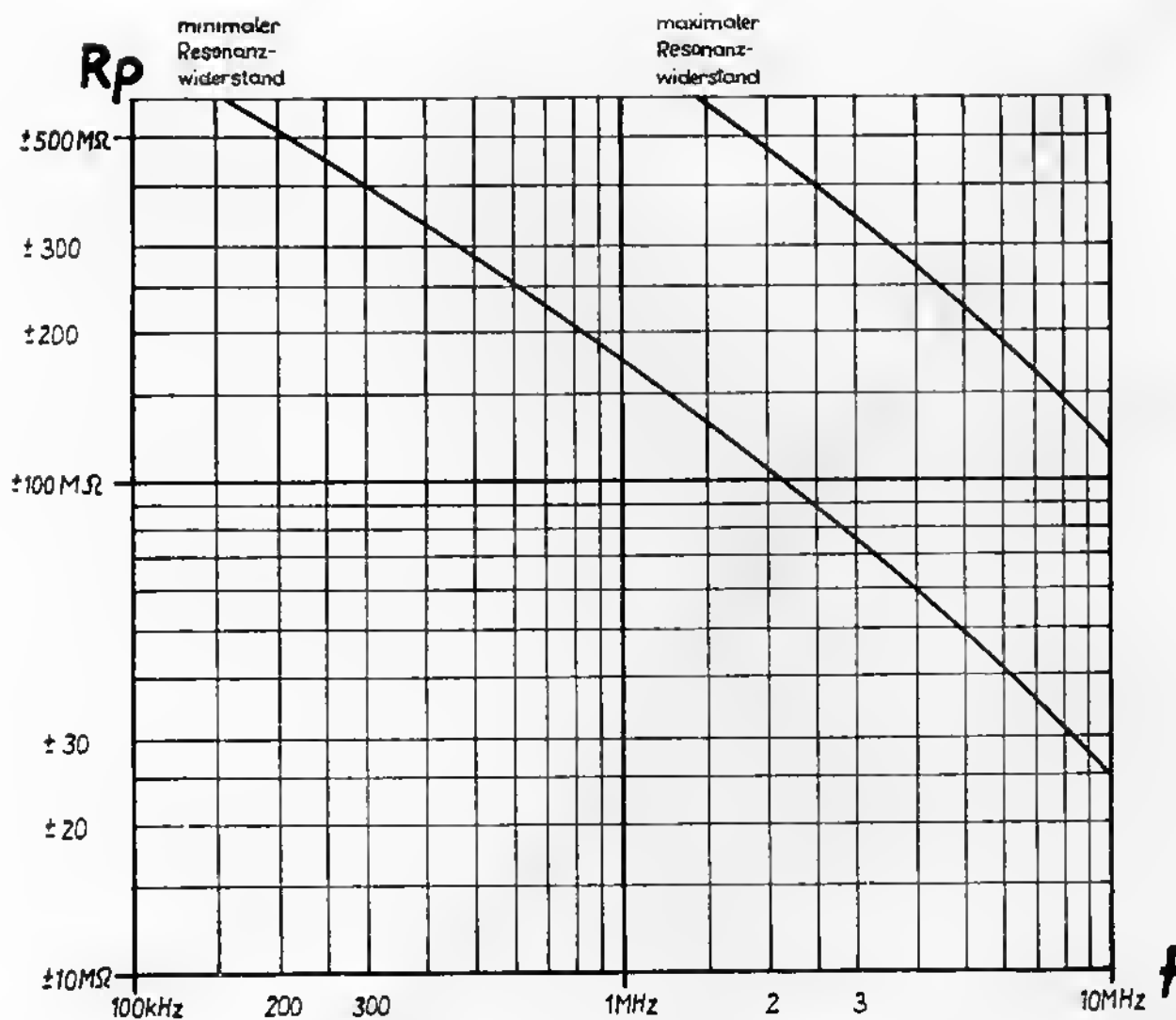


Bild 6 Abhängigkeit des einer Einstellunsicherheit von $\pm 0,2$ Skalenteilen am Meßinstrument äquivalenten Parallelwiderstandes R_p von der Frequenz und vom Resonanzwiderstand

Im Falle R_{x1} beträgt die Abweichung $+ 3,5 \%$ von R_x , im Falle $R_{x2} - 3,5 \%$ von R_x . Somit gilt hier die Fehlergrenze:

$$F_{\max} = \pm 5 \text{ ‰} \pm 3,5 \text{ ‰} = \pm \underline{\underline{8,5 \text{ ‰}}}$$

2.3.4. Grenzen des Meßbereiches für kapazitive Blindkomponenten

Der Meßkreiskondensator (10) soll neben seiner Funktion als Abstimmelement des Meßkreises noch den nach Abklemmen des Meßobjektes entfallenen Blindanteil ersetzen können. Da die Meßkreisinduktivität (5) aber nur stufenweise einstellbar ist, steht für letztere Aufgabe nicht sein ganzer Variationsbereich von $\Delta C = 1000 \text{ pF}$ zur Verfügung. Die größte bei jeder Frequenz meßbare Kapazität beträgt ca. 400 pF , wie aus Bild 7 zu ersehen ist. Kleinere Kapazitäten lassen sich in jedem Falle bei jeder Frequenz messen. Größere Kapazitäten bis zum Grenzwert 1000 pF lassen sich, wenn es möglich ist die Frequenz entsprechend zu wählen, ebenfalls messen. Jeder Meßkreisspule (5) entspricht ein Intervall der Darstellung im Bild 7. Mit zunehmender Kapazität wird dieser Bereich schmäler. Eine Meßobjektkapazität von 1000 pF ist also nur bei einer Frequenz je Meßkreisspule möglich.

2.3.5. Grenzen des Meßbereiches für induktive Blindkomponenten

Bei der Untersuchung von Objekten mit induktiver Blindkomponente ist es wichtig, die für eine bestimmte Frequenz noch meßbare kleinste Induktivität zu kennen. Dieser Grenzwert ist durch die maximal mögliche Variation des Meßkreiskondensators (10) von $\Delta C = 1000 \text{ pF}$ bestimmt. Bild 8 zeigt in Abhängigkeit von der Frequenz die kleinste mit jedem Bereich der Meßkreisinduktivität (5) meßbare Meßobjektinduktivität.

Noch höheren L-Werten gibt es theoretisch keine Grenze. Große Induktivitäten stellen einen hohen Blindwiderstand dar, der durch eine entsprechend kleine Kapazitätsänderung stets zu ersetzen ist. Praktisch wird die Grenze jedoch dort erreicht, wo die Ablesbarkeit des C-Wertes unmöglich, bzw. wo die Eigenkapazität der Spule zu groß wird.

In vielen Fällen ist die Größe des induktiven Anteiles eines Meßobjektes nicht oder nur ungenügend bekannt. Hier hilft bei Beachtung der unteren L-Meßgrenze folgendes Schema: Ohne Meßobjekt, bei Stellung des Meßkreiskondensators (10) zwischen 50 und 100 pF sowie der gewünschten Meßfrequenz, mittels Bereichsschalter für die Meßkreisinduktivität (5) grob und durch Nachstimmen des Meßkreiskondensators (10) auf Resonanz bringen, ohne die Null besonders zu beachten, Meßobjekt anklemmen. Durch Vergrößern der Meßkreiskapazität (10) wieder Resonanz herstellen, Null mit dem HF-Spannungsregler „grob“ (15) und HF-Spannungsregler „fein“ (17) einstellen und zum bereits beschriebenen zweiten Abschnitt der Messung übergeben.

2.3.6. Meßobjekte und Meßmöglichkeiten

2.3.6.1. Messung an Schwingkreisen

Die Art des Meßverfahrens gestattet die direkte Messung des Resonanzwiderstandes von Schwingkreisen. Bei dieser Art Meßobjekt erfährt der erste Abschnitt der Messung einige Veränderungen. Zuerst wird der Meßkreis auf die Resonanzfrequenz des zu messenden Schwingkreises abgestimmt, dann erst das Meßobjekt angeklemt. Sofern sich der zu unter-

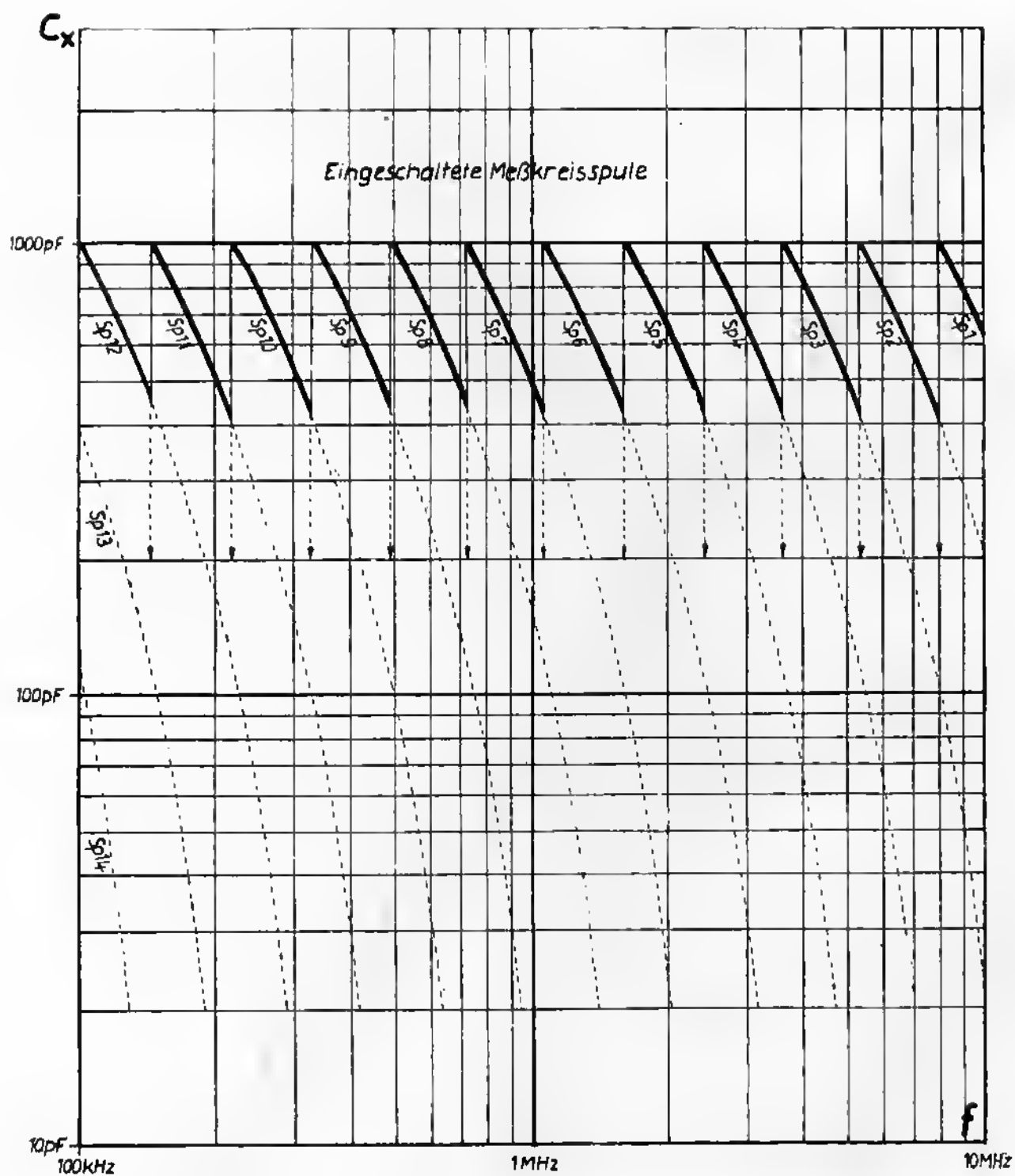


Bild 7 Kapazitätsmeßbereich in Abhängigkeit von der Frequenz und von den Meßbereichsspulen

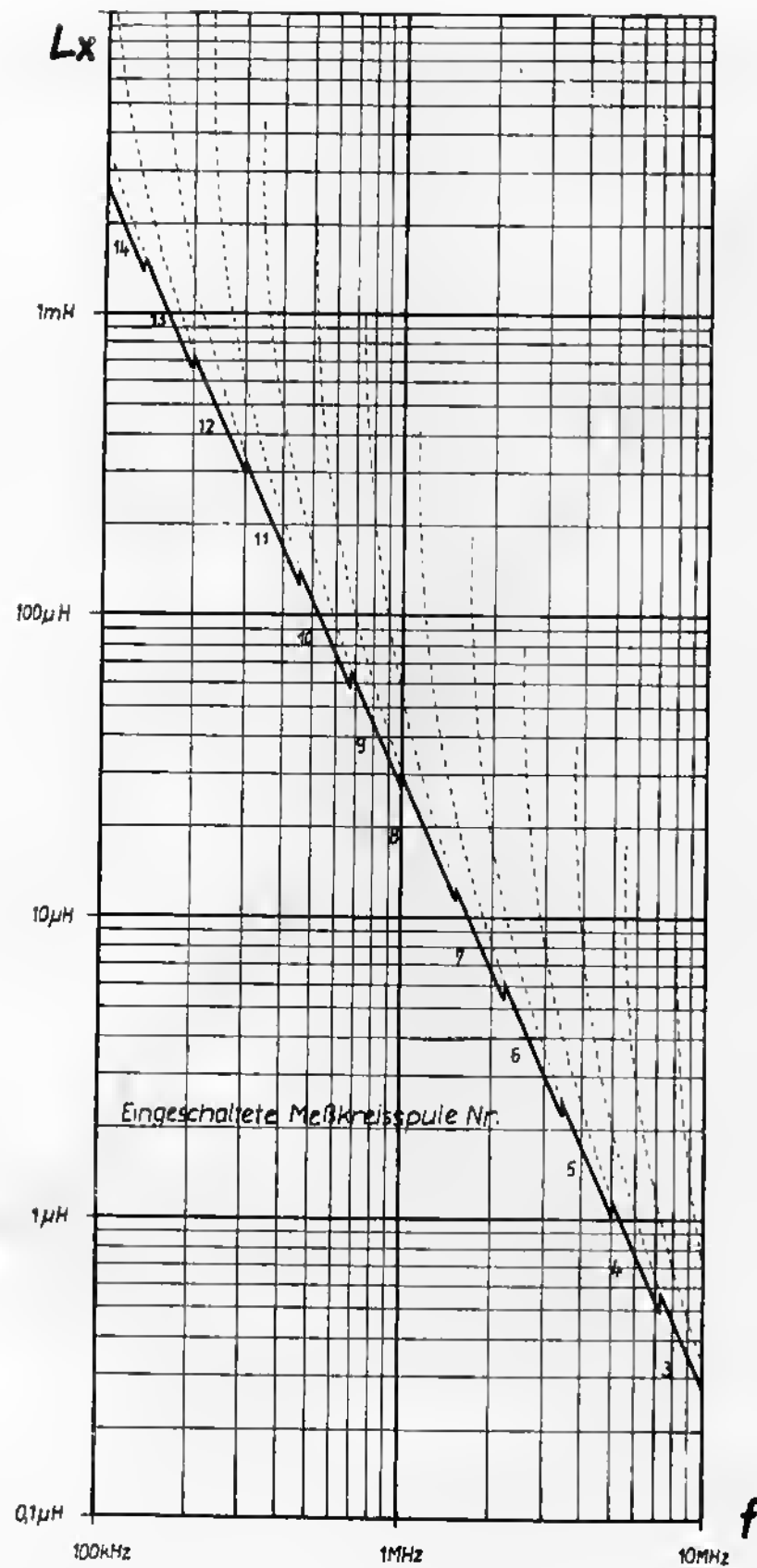


Bild 8 Untere Meßbereichgrenze für Induktivitäten in Abhängigkeit von der Frequenz und den Meßkreisspulen

suchende Schwingkreis abstimmen läßt, wird mit seiner Hilfe wieder das Maximum der Meßkreisspannung eingestellt, und mit HF-Spannungsregler „grob“ (15), bzw. HF-Spannungsregler „fein“ (17) die Null eingeregelt. Läßt er sich nicht abstimmen, so kommt man indirekt zum Ziel, indem man die Generatorfrequenz solange verändert, bis ein An- und Abklemmen des Meßobjektes keine oder zumindest nur geringe Verstimmung des Meßkreises zur Folge hat. Hiernach wird mit dem HF-Spannungsregler „fein“ (17) auch in diesem Fall die Null eingeregelt.

Nunmehr folgt der zweite Abschnitt der Messung, wie bereits unter 2.3.2. beschrieben. Damit ist der Wert des Resonanzwiderstandes bekannt. —

Soll nun der Einfluß von irgendwelchen den Schwingkreis bedämpfenden oder verstimmenden Elementen gemessen werden, so verfährt man wie oben für den ersten Abschnitt der Messung beschrieben, klemmt aber im zweiten Abschnitt der Messung nur das Element bzw. den Elementenkomplex ab, dessen Einfluß untersucht werden soll.

2.3.6.2. Messung an Schichtwiderständen

Die Frequenzabhängigkeit von Schichtwiderständen muß beim Einsatz dieser Bauelemente berücksichtigt werden. Die Messung ist sehr einfach und entspricht völlig den unter 2.3.1. und 2.3.2. gemachten Angaben. Man muß allerdings hier besonders 2.3.3. „Grenzen des R-Meßbereiches“ beachten. Man kann die untere Grenze dann unterschreiten, wenn auf die absolute Größe des Wirkwiderstandes kein Wert gelegt wird, man also nur vergleichen will. Allerdings tritt auch bei derartigen Relativmessungen eine Begrenzung des R-Meßbereiches durch die zur Verfügung stehende HF-Spannung ein.

In der Regel ist die Blindkomponente von normalen Schichtwiderständen sehr klein, daher sind für die abgelesenen Wirkwiderstände R_M keinerlei Korrekturen erforderlich. R_M ist also identisch mit R_X .

2.3.7. Korrekturen

Obwohl der Meßkreis mit größter Sorgfalt dimensioniert und aufgebaut ist, sind die gemessenen Werte mit nicht zu vermeidenden Fehlern behaftet, die jedoch erst bei Frequenzen > 1 MHz praktische Bedeutung erlangen. Die geometrischen Abmessungen der Bauelemente und Leitungen lassen sich nicht weiter unterschreiten, so daß bei Frequenzen oberhalb 1 MHz Leitungsinduktivitäten eine nicht mehr zu vernachlässigende Rolle spielen. Die auftretenden Fehler können durch die im folgenden beschriebenen Korrekturkurven eliminiert werden.

2.3.7.1. Einfluß der Anschlußklemmen

Die Induktivität der Anschlußklemmen (14) zum Meßkreiskondensator verursacht eine unerwünschte Spannungs- bzw. Widerstandstransformation. Hierdurch entsteht bei Frequenzen > 1 MHz ein von der Kapazität bzw. Induktivität des Meßobjektes abhängiger Fehler des Meßwertes der Wirkkomponente. Dieser Fehler kann durch Multiplikation des gemessenen Wirkwiderstandes R_M mit dem Faktor y berichtigt werden. Der Faktor y ist der Korrekturkurve 1 zu entnehmen, siehe Meßbeispiel 2.3.9.1. Der Einfluß auf eine kapazitive Blindkomponente muß bei Frequenzen > 1 MHz beachtet werden. Man kann mit Hilfe der

Korrekturkurve 2 den gemessenen Kapazitätswert C_M in die wirksame Kapazität des Meßobjektes C_x umwandeln, siehe Meßbeispiel 2.3.9.1. Bei induktiven Meßobjekten entspricht der Betrag von C_M einer Induktivität L_M , die man sich aus einer Reihenschaltung der Induktivität des Meßobjektes L_x und der Induktivität der Anschlußstutzen L_{St} zusammengesetzt denken muß. Durch Subtraktion der Anschlußstutzeninduktivität:

$$L_{St} \approx 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ H}$$

von L_M [8] erhält man die gesuchte Induktivität L_x .

2.3.7.2. Einfluß der Eigenverluste des Meßkreisdrehkondensators

Der hochwertige Meßkreisdrehkondensator ist mit einem zwar sehr klein gehaltenen, doch unvermeidlichen Reihenverlustwiderstand behaftet. Durch ihn entsteht besonders beim Messen kleiner Verlustfaktoren bei großen Kapazitäten des Meßobjektes oberhalb 1 MHz ein Meßfehler. Die Korrekturkurve 3 liefert einen Korrekturwert $\Delta \tan \delta$, um welchen man den Verlustfaktor $\tan \delta_M$ vergrößern, bzw. bei induktivem Meßobjekt verkleinern muß, um den wirksamen Verlustfaktor $\tan \delta_x$ zu erhalten. Im Meßbeispiel 2.3.9.1. wird die Anwendung gezeigt.

2.3.7.3. Sonstige Fehler

Bei der Messung eines Objektes mit induktiver Blindkomponente ist zu beachten, daß sich der Gesamtfehler aus dem Fehler der C-Anzeige ($\pm 1 \% \pm 2 \text{ pF}$), dem wegen ω^2 doppelten Fehler der Meßfrequenz ($\pm 0,5 \%$) und der unter 2.3.7.1. unvermeidlichen Induktivität der Anschlußklemmen zum Meßkreis zusammensetzt. Der letzte Fehler läßt sich jedoch wie unter 2.3.7.1. beschreiben, eliminieren, siehe auch unter 2.3.2.

Anschlußinduktivitäten und die inneren Induktivitäten eines Meßobjektes, z. B. eines normalen keramischen Rohrkondensators, machen sich bei höheren Frequenzen in zunehmendem Maße bei der Messung des Kapazitätswertes C_x störend bemerkbar. Hat der als Beispiel angeführte Kondensator bei einer C-Messung mit 1000 Hz eine Kapazität von etwa 400 pF, so kann der am Verlustfaktormessgerät bei einer Meßfrequenz von etwa 5 MHz gemessene Wert ohne weiteres, trotz Korrekturkurve 2, 500 pF und mehr betragen. Das Gerät arbeitet durchaus einwandfrei und kann für diese Fehler nicht verantwortlich gemacht werden. Die gemessene, vom 1000-Hz-Meßwert abweichende Kapazität C_x ist die bei der Meßfrequenz wirksame Kapazität des Bauelementes. Diesen Wert zu kennen ist in vielen Fällen nicht uninteressant. Handelt es sich um eine reine Anschlußinduktivität und ist deren Größe hinreichend genau bekannt, so kann die nachstehende Gleichung zur Bestimmung des wirklichen Kapazitätswertes C_w benutzt werden.

$$C_w = C_x \cdot \frac{1}{1 + \omega^2 L_a C_x} \quad [13]$$

Darin sind:

C_x = die am Verlustfaktormessgerät gemessene und wenn erforderlich korrigierte wirksame Kapazität.

L_a = die störende Anschlußinduktivität.

2.3.8. Wichtige Hinweise

2.3.8.1. Zur Erzielung einer möglichst genauen Messung ist folgendes besonders zu beachten:
Die Verbindung Meßobjekt—Meßklemmen muß sehr kurz gehalten werden. Besonderes Augenmerk ist auf diesen Punkt bei Benutzung irgendwelcher Einspannvorrichtungen a. ä. für Meßproben usw. zu legen.

Die Verbindung Meßobjekt—Meßklemmen muß sehr guten Kontakt haben, da schon kleine Übergangswiderstände zu nicht mehr vernachlässigbaren Meßfehlern führen können.

2.3.8.2. Das Gerät kann auf Grund seiner Funktion zum starken Störstrahler werden, wenn bei Resonanz die Spannung am Meßkreis größer als die für den Meßfall benötigte Spannung von ca. 8 V ist. Das Instrument liegt hierbei fast am rechten Anschlag. Das läßt sich vermeiden, indem man nach jeder Messung oder wenigstens am Schluß jeder Meßreihe den HF-Spannungsregler „grab“ (15) an den linken Anschlag dreht.

2.3.9. Meßbeispiele

2.3.9.1. Meßobjekt: Keramikkondensator

Die Messung am Verlustfaktormeßgerät hat bei einer Meßfrequenz von 10 MHz mit Meßkreisspule 1 (bei Meßkreisspule 2 ist mit 410 pF bereits keine Resonanz mehr möglich!) ergeben:

$$C_M = 410 \text{ pF}$$

$$R_M = 31 \text{ k}\Omega$$

Gesucht sei der Verlustfaktor des Kondensators.

$$\tan \delta_x = \frac{1}{\omega C_x R_x} \pm \Delta \tan \delta = \tan \delta_M \pm \Delta \tan \delta$$

Dazu wird zuerst die gemessene Blindkomponente C_M in die benötigte Rechengröße C_x (das ist die wirksame Kapazität des Kondensators bei der Meßfrequenz 10 MHz!) umgewandelt. Dies geschieht mit Hilfe der Korrekturkurve 2, die den Einfluß der Anschlußklemmen auf den Blindanteil des Meßobjektes berücksichtigt.

$$C_x = C_M \cdot q$$

Man erhält bei $f = 10 \text{ MHz}$ für $C_M = 410 \text{ pF}$ einen Wert $q = 0,974$. Damit wird:

$$C_x = 410 \cdot 0,974 = \underline{\underline{400 \text{ pF}}}$$

Um aus der gemessenen ohmschen Komponente R_M den benötigten Wirkanteil R_x zu errechnen, muß die Korrekturkurve 1 herangezogen werden. Es ist:

$$R_x = R_M \cdot y$$

Bei $C_x = 400 \text{ pF}$ und $f = 10 \text{ MHz}$ erhält man aus der Kurve 1 den Wert $y = 1,056$. Damit wird:

$$R_x = 31 \cdot 1,056 = \underline{\underline{32,8 \text{ k}\Omega}}$$

Jetzt ist man in der Lage $\tan \delta_M$ zu berechnen:

$$\tan \delta_M = \frac{1}{6,28 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 10^{-10} \cdot 3,28 \cdot 10^4} = 12,14 \cdot 10^{-4}$$

Nunmehr müssen die Eigenverluste des Meßkreisdrehkondensators berücksichtigt werden. Aus Korrekturkurve 3 entnimmt man für $C_M = 410 \text{ pF}$ bei $f = 10 \text{ MHz}$ den Wert

$$\Delta \tan \delta = 0,95 \cdot 10^{-4}$$

Der gesuchte Verlustfaktor ist damit bestimmbar.

$$\tan \delta_x = \tan \delta_M + \Delta \tan \delta = (12,14 + 0,95) \cdot 10^{-4} = \underline{\underline{13,09 \cdot 10^{-4}}}$$

Fehlerbetrachtung:

Der Wirkanteil R_x eines Meßobjektes wird nach 1.3.4.3. mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ gemessen. Dazu kommt noch nach 2.3.3.1. die Einstellunsicherheit. Bild 6 (Seite 27) zeigt, daß selbst im hier vorliegenden ungünstigen Falle, also Messung beim kleinsten Meßkreisresonanzwiderstand (Resonanzstelle mit der bei 10 MHz kleinstmöglichen Induktivität, Spule 1) der dieser Unsicherheit äquivalente Widerstand $R_p \pm 25 \text{ M}\Omega$ nicht unterschreitet. Dieser Wert, parallel zu $R_x = 32,8 \text{ k}\Omega$ gedacht, führt, wie auch schon ohne Rechnung einzusehen ist, zu keiner Erweiterung der Fehlergrenzen. —

Die Blindkomponente $C_x = 400 \text{ pF}$ wurde nach 1.3.4.2. mit einer Genauigkeit von $\pm 1\%$ $\pm 2 \text{ pF}$ gemessen. Im vorliegenden Fall ergibt das einen prozentualen Gesamtfehler von $\pm 1,5\%$. —

Die Genauigkeit der Frequenz wurde unter 1.3.4.1. mit $\pm 0,5\%$ angegeben.

Der Betrag des maximal möglichen Fehlers des errechneten Verlustfaktors $\tan \delta_M$ ergibt sich dann über die Fehlergleichung

$$\left| \Delta \tan \delta_M \right| = \left| \frac{\partial \tan \delta_M}{\partial \omega} \cdot \Delta \omega \right| + \left| \frac{\partial \tan \delta_M}{\partial C} \cdot \Delta C \right| + \left| \frac{\partial \tan \delta_M}{\partial R} \cdot \Delta R \right|$$

$$\text{und} \quad F_{\tan \delta M} = \left| \frac{\Delta \omega}{\omega} \right| + \left| \frac{\Delta C_x}{C_x} \right| + \left| \frac{\Delta R_x}{R_x} \right|$$

$$\text{zu} \quad F_{\tan \delta M} [\%] = F_{\omega} [\%] + F_{C_x} [\%] + F_{R_x} [\%]$$

Ausgewertet:

$$F_{\tan \delta M} = 0,5 + 1,5 + 5 = \underline{\underline{7\%}}$$

Wie aus dem Rechenbeispiel zu ersehen ist, wird zu dem Wert $\tan \delta_M$ noch ein durch die Eigenverluste des Meßkreisdrehkondensators bedingter Korrektursummand, $\Delta \tan \delta$, addiert. Der für den gesuchten Meßwert des Kondensators gültige Fehler ergibt sich dann zu

$$F_{\tan \delta x} [\%] = F_{\tan \delta M} [\%] \cdot \frac{\tan \delta_M}{\tan \delta_x}$$

Ausgewertet:

$$F_{\tan \delta x} = 7 \cdot \frac{12,1 \cdot 10^{-4}}{13,1 \cdot 10^{-4}} = 7 \cdot 0,92 = \underline{\underline{6,5\%}}$$

2.3.9.2. Meßobjekt: Keramikkondensator

Gemessen wurden bei 200 kHz und Spule 11:

$$C_M = 150 \text{ pF}$$

$$R_M = 850 \text{ k}\Omega$$

Spule 11 wurde gewählt, weil bei einer Frequenz von 200 kHz die untere R-Grenze (siehe 2.3.3.) weit unter $R_x = 850 \text{ k}\Omega$ (Bild 5, Seite 25) liegt.

Um [7] auswerten zu können, muß der Meßwert C_M mittels Korrekturkurve auf den Wert C_x reduziert werden. Man erhält $q \approx 1$, da bei $f < 1 \text{ MHz}$ der Einfluß der Anschlußklemmen bedeutungslos wird.

$$C_x = C_M = 150 \text{ pF.}$$

Korrekturkurve 1 läßt erkennen, daß bei einer Meßfrequenz von 200 kHz eine Korrektur des Meßwertes R_M ebenfalls nicht erforderlich ist. Da $y \approx 1$ ist, wird:

$$R_x = R_M = \underline{\underline{850 \text{ k}\Omega}}$$

Damit wird:

$$\tan \delta_M = \frac{1}{6,28 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-10} \cdot 8,5 \cdot 10^5}$$

$$\tan \delta_M = \underline{\underline{62,5 \cdot 10^{-4}}}$$

Die Eigenverluste des Meßkreisdrickkondensators sind, wie man auf Korrekturkurve 3 erkennt, hier völlig bedeutungslos und werden vernachlässigt. Also:

$$\tan \delta_x = \tan \delta_M = \underline{\underline{62,5 \cdot 10^{-4}}}$$

Fehlerbetrachtung:

Für dieses Meßobjekt gilt das gleiche Schema wie im vorangegangenen Beispiel 2.3.9.1.

Aus dem Diagramm Bild 6 entnimmt man bei $f = 200 \text{ kHz}$ und Spule 11 (d. h. minimalster Resonanzwiderstand bei 200 kHz):

$$R_p > 500 \text{ M}\Omega.$$

Eine Bestimmung des relativen Fehlers bei $R_p = 500 \text{ M}\Omega$ über Gleichung [12]. führt zu einem Wert von $\pm 0,2 \text{ ‰}$. Die wirksame Abweichung ist, da $R_p > 500 \text{ M}\Omega$, $< 0,2 \text{ ‰}$ und spielt keine Rolle mehr.

Die Blindkomponente $C_x = 150 \text{ pF}$ ist nach 1.3.4.2. mit einem Fehler von $\pm 1 \text{ ‰} \pm 2 \text{ pF}$. entspricht $\pm 2,5 \text{ ‰}$, behaftet.

Fehlergrenzen der Frequenzen $\pm 0,5 \text{ ‰}$.

Man hat also mit einem resultierenden Fehler von:

$$F_{\tan \delta M} = 0,5 + 2,5 + 5 = 8 \text{ ‰}$$

zu rechnen.

Weil im vorliegenden Beispiel $\tan \delta_x = \tan \delta_M$ ist, gilt für $\tan \delta_x$ die gleiche Unsicherheit:

$$F_{\tan \delta x} = \underline{\underline{8 \text{ ‰}}}$$

2.3.9.3. Meßobjekt: Schichtwiderstand

Meßwerte bei $f = 2 \text{ MHz}$ und Spule 7

$$C_M \approx 1 \text{ pF}$$

$$R_M = 2,4 \text{ M}\Omega$$

Gesucht sei der Wirkwiderstand des Meßobjektes bei der angegebenen Frequenz.

Die gemessene Kapazität C_M ist hier von sekundärer Bedeutung. Sie dient lediglich dazu, festzustellen, ob die Korrekturkurven 1 und 3 zur Bestimmung von R_x herangezogen werden müssen. Eine Kontrolle ergibt:

$$\text{Korrekturkurve 1: } \gamma \approx 1,$$

$$\text{Korrekturkurve 3: } \Delta \tan \delta \approx 0.$$

Somit erhält man:

$$R_x = R_M = \underline{\underline{2,4 \text{ M}\Omega}}$$

Das ist der Wert des bei $f = 2 \text{ MHz}$ wirksamen ohmschen Anteiles. Im vorliegenden Beispiel diene ein Schichtwiderstand (1/2-Watt Type) mit einem Gleichstromwert von ca. $3 \text{ M}\Omega$ als Meßobjekt.

Fehlerbetrachtung:

Da hier lediglich die Wirkkomponente interessiert, beschränkt sich die Fehlerbetrachtung auch nur auf R_x .

Gemessen wurde mit Spule 7. Diese ergibt bei 2 MHz den maximal möglichen Resonanzwiderstand des Meßkreises (vergleiche Bild 7). Aus Bild 6 kann man einen der Einstellunsicherheit äquivalenten Wirkwiderstand R_p von ca. $500 \text{ M}\Omega$ entnehmen. Die Auswertung der Gleichung [12] ergibt einen zusätzlichen Fehler von $\pm 0,42 \%$. Der Gesamtfehler beläuft sich mithin auf

$$F_{R_x} = 5 + 0,42 = \underline{\underline{5,42 \%}}$$

Angenommen, man habe, was ja (vergleiche Bild 6) ohne weiteres möglich ist, den Widerstand unter Verwendung von Spule 5, also beim kleinstmöglichen Resonanzwiderstand des Meßkreises gemessen. —

Aus dem Diagramm Bild 6 wird man in diesem Fall $R_p \approx 100 \text{ M}\Omega$ entnehmen. Nach Auswertung von Gleichung [12] erhält man einen zusätzlichen Fehler von $\pm 2,5 \%$. Die Fehlergrenzen erweitern sich also auf:

$$F_{R_x} = 5 + 2,5 = \underline{\underline{7,5 \%}}$$

Hätte man es in diesem Beispiel mit einem Widerstand von $R_x = 24 \text{ M}\Omega$ zu tun gehabt, dann ergäbe sich mit Spule 7, also im günstigsten Meßfalle ein zusätzlicher Meßfehler von -11% bzw. $+12 \%$, so daß die Fehlergrenzen sich im Falle R_p negativ auf:

$$F_{R_x} = 5 + 12 = 17 \% \text{ (} R_x \text{ wird zu groß gemessen!)} \quad \text{und im Falle } R_p \text{ positiv auf:}$$

$$F_{R_x} = 5 + 11 = 16 \% \text{ (} R_x \text{ wird zu klein gemessen!)} \quad \text{erweitern. Bei Messung mit Spule 5, ungünstigster Fall, vergrößert sich der Zusatzfehler auf}$$

-19% bzw. $+32 \%$, so daß man mit Fehlergrenzen von:

$$F_{R_x} = 5 + 32 = 37 \% \text{ (} R_x \text{ wird zu groß gemessen!)} \text{, bzw.}$$

$$F_{R_x} = 5 + 19 = 24 \% \text{ (} R_x \text{ wird zu klein gemessen!)} \quad \text{36}$$

rechnen muß. Bei diesem Beispiel wird außerdem deutlich, daß auf Grund der durch Gleichung [12] gegebenen Zusammenhänge ein hochohmiger Widerstand eher zu groß als zu klein gemessen wird. Außerdem erkennt man an diesem Beispiel, wie wichtig es ist, im Interesse eines möglichst genauen Ergebnisses, die günstigste Spule zu wählen.

2.3.9.4. Meßobjekt Spule

Meßergebnisse bei 800 kHz und Spule 9, bei Beachtung des Meßschemas unter 2.3.5

$$C_M = 320 \text{ pF} \quad R_M = 147 \text{ k}\Omega.$$

Gesucht sei die Induktivität L_x und die Güte Q_x des Meßobjektes. Zur Bestimmung von L_x bedient man sich der Gleichung [8]:

$$L_x = \frac{1}{\omega^2 C_M} - L_{St}$$

$$L_{St} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ H.}$$

Somit:

$$L_x = \frac{1}{39,5 \cdot 64 \cdot 10^{10} \cdot 3,2 \cdot 10^{-10}} - 1,7 \cdot 10^{-8}$$

$$L_x = (124 - 0,017) \cdot 10^{-6} \approx \underline{\underline{124 \text{ }\mu\text{H}}}$$

Der gemessene Wirkanteil muß wieder an Hand der Korrekturkurve 1 berichtigt werden. Zumindest ist eine Kontrolle darüber, ob überhaupt berichtigt werden muß, erforderlich.

$$\text{Korrekturkurve 1: } y \approx 1$$

Damit erhält man:

$$R_x = R_M \cdot y = 147 \text{ k}\Omega$$

Der jetzt nach Gleichung [9] oder [10] errechenbare Gütewert Q' ist noch durch die Eigenverluste des Meßkreisdrehkondensators verfälscht und muß mit Hilfe von Korrekturkurve 3 berichtigt werden.

$$Q' = \frac{1,47 \cdot 10^5}{6,28 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 1,24 \cdot 10^{-4}} = \underline{\underline{236}}$$

Mit Gleichung [11] kann man nun aus Q' den gesuchten Gütewert Q_x errechnen, nachdem man aus der Korrekturkurve 3 den für C_M gültigen Wert $\Delta \tan \delta$ entnommen hat.

$$\text{Korrekturkurve 3: } \Delta \tan \delta \approx 0$$

Eine Auswertung von [11] ist also gar nicht erforderlich, da die Eigenverluste des Drehkondensators bei $f < 1 \text{ MHz}$ bedeutungslos sind. Es ist also:

$$Q_x = Q' = \underline{\underline{236}}$$

Fehlerbetrachtung:

Aus dem Diagram Bild 6 entnimmt man bei $f = 800 \text{ kHz}$ und Spule 9, welche im vorliegenden Falle den höchsten Resonanzwiderstand ermöglicht:

$$R_p > 500 \text{ M}\Omega.$$

Hier gilt das im Beispiel 2.3.9.2. Gesagte. Der Einfluß von R_p auf den Wirkanteil des Meßobjektes R_x ist vernachlässigbar gering; also bleibt die in den technischen Kennwerten 1.3.4.3. angegebene Fehlergrenze von $\pm 5\%$ erhalten.

Die Blindkomponente L_x bzw. $C_x = 320 \text{ pF}$ ist nach 1.3.4.2. mit einem Fehler von $\pm 1\% \pm 2 \text{ pF}$, entspricht $\pm 1,6\%$, behaftet. Fehlergrenzen der Frequenz $\pm 0,5\%$. Wegen Gleichung [8] verdoppelt sich dieser Fehler, da m in der zweiten Potenz vorkommt.

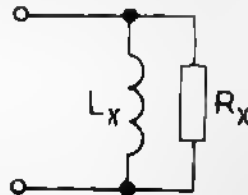
Somit ergibt sich hier ein Gesamtfehler für L_x von:

$$F_{L_x} = 1 + 1,6 \approx 2,6\%,$$

und für Q_x

$$F_{Q_x} \approx 0,5 + 1,6 + 5 = 7,1\%.$$

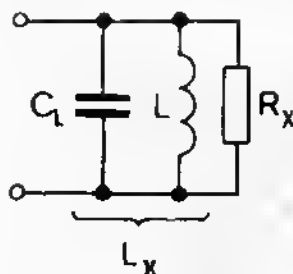
Induktivität L_x und Gütewert Q_x dieses Beispiels beziehen sich ganz allgemein auf ein Meßobjekt mit induktiver Blindkomponente, dessen Ersatzschaltbild wie untenstehend aussehen könnte.



Was aber, wenn L_x eine nicht zu vernachlässigende Eigenkapazität C_L hat oder nur die Resultierende eines aus mehreren Blindkomponenten zusammengesetzten Netzwerkes ist?

In solchen Fällen muß, je nach Lage der Dinge, nach eine entsprechende Umrechnung erfolgen.

Als Beispiel sei hier nur auf den häufigen Fall der Spuleneigenkapazität C_L hingewiesen.



Es gilt:

$$L = L_x \frac{1}{1 + \omega^2 L_x C_L} \quad [14]$$

bzw.:

$$Q = Q_x \cdot (1 + \omega^2 L_x C_L) \quad [15]$$

Die Bestimmung der Eigenkapazität einer Spule kann unter anderem hinreichend genau in vielen Fällen mit dem Verlustfaktor-meßgerät Typ 1033 vorgenommen werden.

Man bestimmt die Induktivität L bei einer möglichst tiefen Frequenz (Bild 8 beachten!). Hier geht die Eigenkapazität am wenigsten in das Meßergebnis ein und man erhält daher einen praktisch unverfälschten Induktivitätswert. Sodann schätzt man die Eigenkapazität C_L^* grob ein und bestimmt über:

$$f_e^* = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C_L^*}} \quad [16]$$

die ungefähre Eigenresonanzfrequenz der Spule. Diese Frequenz f_e^* wird am Gerät eingestellt und der Meßkreis mit angeklemmter Spule auf Resonanz abgestimmt. Stimmt nun die

wirkliche Eigenresonanzfrequenz f_e auf Grund guter Schätzung mit f_e^* überein, dann bewirkt das Abklemmen der Spule lediglich eine Entdämpfung des Meßkreises, jedoch keine Verstimmung (Resonanzwiderstand ist reell).

C_L^* entspräche in diesem Falle der wirklichen Eigenkapazität C_L . Muß der Meßkreis aber doch nachgestimmt werden, und das wird in den meisten Fällen so sein, dann ändert man die Generatorfrequenz f_e^* so lange, bis die Kapazitätsänderung am Meßkreis $|\Delta C| \leq 10 \text{ pF}$ ist. Die Reständerung kann positiv oder negativ sein, je nachdem, ob f_e^* oberhalb oder unterhalb f_e lag, die Spule also kapazitiven oder induktiven Charakter hatte.

Die wirkliche Eigenkapazität erhält man aus:

$$C_L = \frac{1}{(\omega_e^*)^2 L} + \Delta C \quad [17]$$

2.4. Wartung

2.4.1. Röhrenwechsel

Die Heizspannung der Röhren RÖ 101, RÖ 201, RÖ 202 und RÖ 401 werden durch das transistorisierte, elektronisch geregelte Heizstromversorgungs- (siehe 1.5.3.6.2.) konstant gehalten. Solange dieses Teil funktionstüchtig ist, können die o. a. Röhren bedenkenlos ausgewechselt werden. Dabei ist es gleichgültig, ob das Gerät ein- oder ausgeschaltet ist.

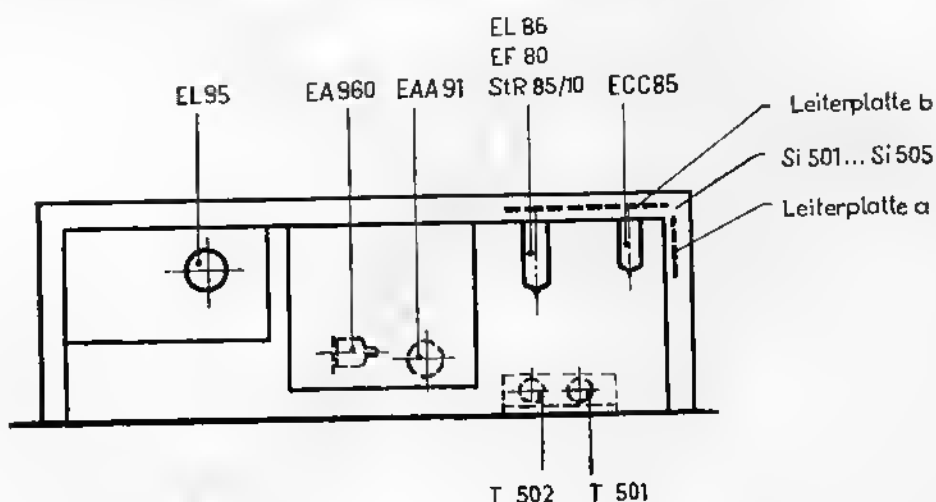


Bild 9

Ein Nachstellen der Heizspannung ist in der Regel kaum nötig, kann aber nach Bedarf mittels R 414 erfolgen. Die Heizspannung der Röhren des Anodenstromversorgungs- teiles ist nicht stabilisiert. Die Röhren können ohne weiteres ausgewechselt werden. Sollte sich der Wert der geregelten Gleichspannung verändert haben, so kann man diesen mittels R 431 wieder einstellen. —

Soll die Generatorröhre RÖ 101 (EL 95) ersetzt werden, dann ist eine Eichkontrolle des Generators unumgänglich. Im allgemeinen genügt eine Neueinstellung des Trimmers C 107 im Generatorbaustein. —

Bei Ersatz der Bedämpfungsdiode R_ö 201 (EAA 91) macht sich eine Kontrolle der R-Eichung erforderlich. Dazu ist ein bekannter Wirkwiderstand von etwa 5 k Ω bei 10 MHz zu messen. Falls bei dieser Messung die Eichung nicht stimmen sollte, ist durch Ausschuchen eine Röhre zu finden, die den Ansprüchen genügt, d. h., bei der die Eichung mit dem bekannten Widerstandswert übereinstimmt. —

Nach Ersatz der Brückenröhre R_ö 401 (ECC 85) ist unter Umständen ein Neuabgleich der Anzeigebrückenschaltung nötig. Das macht keine besonderen Schwierigkeiten und geht wie folgt vor sich: Der von außen zugängliche Nullkorrekturregler (13) ist zunächst auf Mittelstellung zu bringen. Die Drucktaste für Nullpunktkorrektur (11) ist zu drücken und das sich auf Leiterplatte b befindliche Korrekturpotentiometer R 403 mittels eines Schraubenziehers so einzustellen, daß der Zeiger des Anzeigeinstrumentes (7) auf Null zeigt. Geringfügige Änderungen des Nullpunktes können nunmehr mit dem Nullkorrekturregler (13) ausgeglichen werden. Zu diesem Zweck ist jeweils die Drucktaste (11) zu drücken.

Beim Auswechseln der Anzeigeröhre R_ö 402 (EA 960) ist auf richtigen Sitz zu achten, da diese Röhre nur 3, statt 7, Sockelstifte hat. Durch verkehrtes Einsetzen ist zwar die Meßfunktion gestört, zu Schaden können aber weder Röhre noch Gerät kommen.

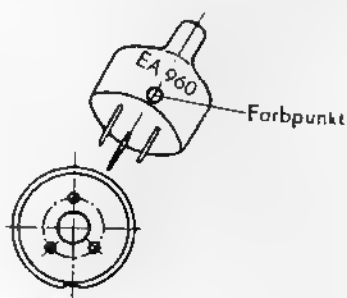


Bild 10

Die Eichung des Gerätes wird nicht beeinflußt.

2.4.2. Meßkreisdrehkondensator C 203

Um die hohe Güte des Drehkondensators nicht zu reduzieren, laufen die Rotorabnahmefedern ohne Schmiermittel auf dem Rotorrohr. Tritt nach langer Betriebszeit eine merkliche Verschmutzung der Kontakte ein, die sich durch unsichere Resonanzeinstellung bemerkbar macht, so darf lediglich eine gründliche Reinigung mit einem Lösungsmittel wie Spiritus, Tetrachlorkohlenstoff usw. vorgenommen werden.

2.4.3. Sonstiges

Die Lagerstellen der Antriebe sind von Zeit zu Zeit durch einige Tropfen harzfreien Öles zu schmieren. Ebenso die Umlenkrollen der Seile.

Die Anschlußklemmen für das Meßobjekt (14) sind bei Verschmutzung mit Spiritus zu reinigen. Sie haben einen Lacküberzug und sind nur an den Klemmflächen kontaktblank.

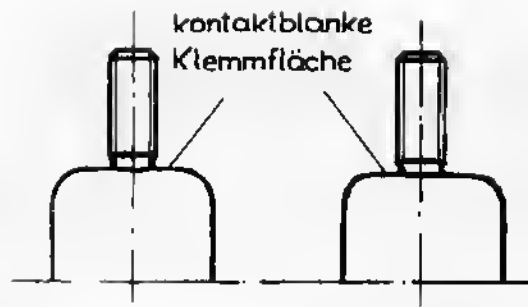


Bild 11

Da die Klemmen massiv sind und aus Gütegründen keine galvanisch aufgebrachte Oberfläche besitzen, ist selbst gegen eine mechanische Reinigung der Klemmflächen, sofern sie vorsichtig vorgenommen wird (Späne!) nichts einzuwenden.

Eine Reinigung des Bereichsschalters für die Meßkreisinduktivitäten (5) ist kaum erforderlich. Mehrfaches kräftiges Durchschalten reinigt die Kontakte hinreichend gut

2.4.3.1. Lagerung

Wenn das Gerät längere Zeit außer Betrieb gesetzt werden soll, ist es so zu lagern, daß die Einwirkung hoher Feuchte ausgeschlossen wird.

Es empfiehlt sich, die brünierten Teile mit einem temporären Rostschutzmittel (z.B. Fett Inhibon FS 80 oder Wachsfluid) einzustreichen.

2.4.4. Fehlersuchanleitung

Mit dieser Anleitung sollen dem Benutzer des Gerätes Hinweise gegeben werden, welche Kontrollen und kleinere Reparaturen er bei Ausfall des Gerätes ohne Spezialausrüstung selbst durchführen kann. Es sei aber an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß bei allen über den Rahmen dieser Anleitung hinausgehenden Fehlern das Herstellerwerk zu Rate gezogen bzw. das Gerät zur Reparatur dorthin geschickt werden sollte. Jede unsachgemäße Reparatur kann die Eichung total verschieben, obwohl die prinzipielle Funktion wieder hergestellt wurde.

2.4.4.1. Gerät zeigt keine Betriebsbereitschaft

Wenn trotz vorhandener Netzspannung und eingeschaltetem Gerät die Betriebsanzeigelampe (12) nicht aufleuchtet, sind in erster Linie die Schmelzeinsätze in den Sicherungselementen Si 501 und Si 502 im Inneren des Gerätes zu kontrollieren und wenn nötig auszuwechseln. Sollten nach neuerlichem Einschalten die Schmelzeinsätze wieder ansprechen, dann ist eine systematische Fehlersuche nicht zu umgehen.

2.4.4.2. Kein Zeigerausschlag am Instrument

Der Zeiger des Anzeigeinstrumentes (7) steht im ausgeschalteten Zustand in der Mitte (Null) der Skala. Etwa 30 Sekunden nach dem Einschalten müßte sich, wie unter Meßvorgang 2.3.1.

beschrieben, mit Hilfe des Nullkorrekturreglers (13) der elektrische Nullpunkt des Gerätes einstellen lassen, sofern die Betriebsanzeige (12) das Vorhandensein von Netzspannung meldet. Ist das nicht der Fall, so ist zuerst zu kontrollieren, ob Heiz- und Anodenspannung (siehe 1.5.3.6.) vorhanden sind. Weiterhin ist die Brückenröhre RÖ 401 zu prüfen und gegebenenfalls auszuwechseln. Sollte durch Sturz oder sehr harten Stoß des Gerätes das Spannband des Instrumentes (7) gerissen sein, so zeigt sich dies an einer eigentümlichen Schräglage des Zeigers im Instrument.

2.4.4.3. Keine Resonanzstelle auffindbar

Trotzdem die Glimmlampe Betriebsbereitschaft anzeigt, der elektrische Nullpunkt einstellbar und kein Meßobjekt angeschlossen ist, läßt sich bei vorschriftsmäßiger Bedienung keine Resonanzstelle finden. Dieser Fehler kann die verschiedensten Ursachen haben. Zum Beispiel fehlende Anodenspannung (Schmelzeinsatz in Si 503 des Stromversorgungsteiles prüfen), fehlende Generatorspannung (Kontaktfehler der Spulentrommel, Drahtriß der Spule, RÖ 101 defekt), defekter Koppler (Masseschluß) oder gelöste Anodenkappe der Anzeigodiode RÖ 202 (EA 960).

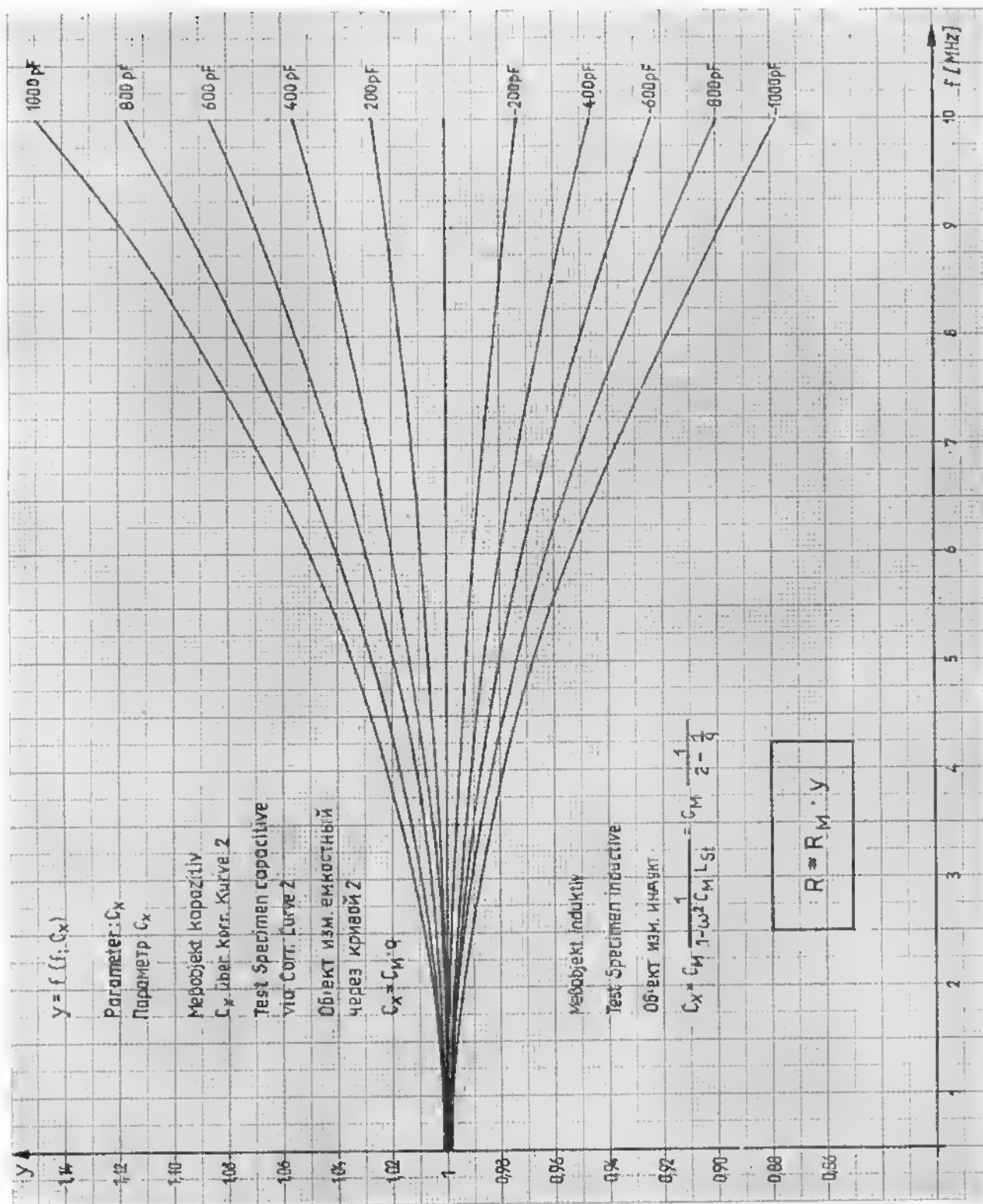
2.4.4.4. Keine Nachbildung der Wirkkomponente möglich

Stellt sich nach Beendigung des zweiten Meßabschnittes einer Messung heraus, daß der Regler für die Meßkreisbedämpfung (9) nicht reagiert, dann liegt in erster Linie ein Defekt des Wendelpotentiometers R 501 vor. Ein Auswechseln des Reglers sollte man jedoch dem Herstellerwerk des Gerätes übertragen, weil hier eine gründliche Kontrolle der Eichung nötig wird.

Einfluß der Anschlußklemmen auf die Wirkkomponente

Influence of Connecting Terminals upon the Active Component

Влияние присоединительных клемм на активную составляющую

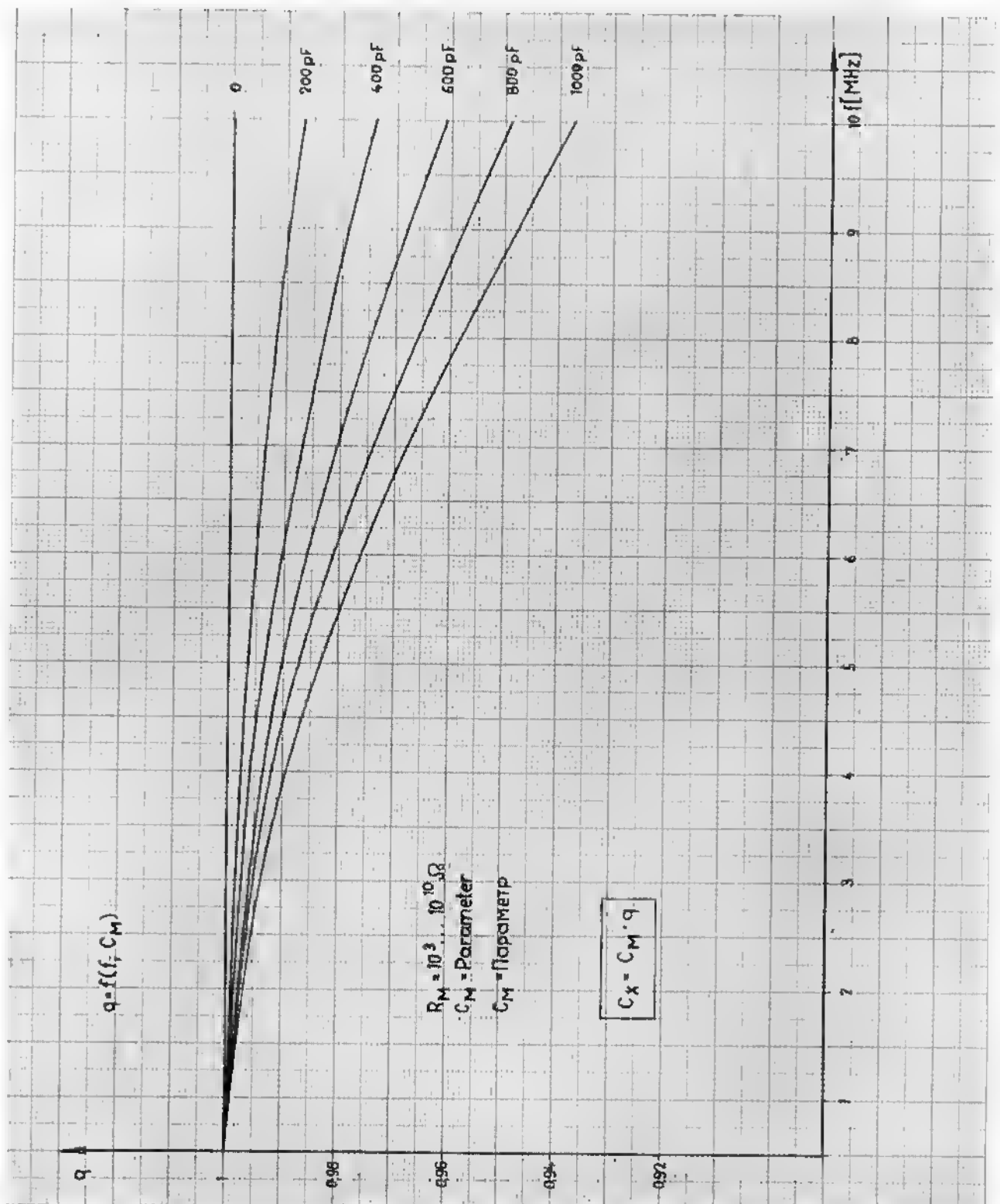


Korrekturkurve 1

Correction Curve 1

Кривая коррекции 1

Einfluß der Anschlußklemmen auf die Blindkomponente bei kapazitivem Meßobjekt
 Influence of Connecting Terminals upon the Reactive Component at a capacitive test specimen
 Влияние присоединительных клемм на реактивную составляющую
 при ёмкостном объекте измерения



Korrekturkurve 2

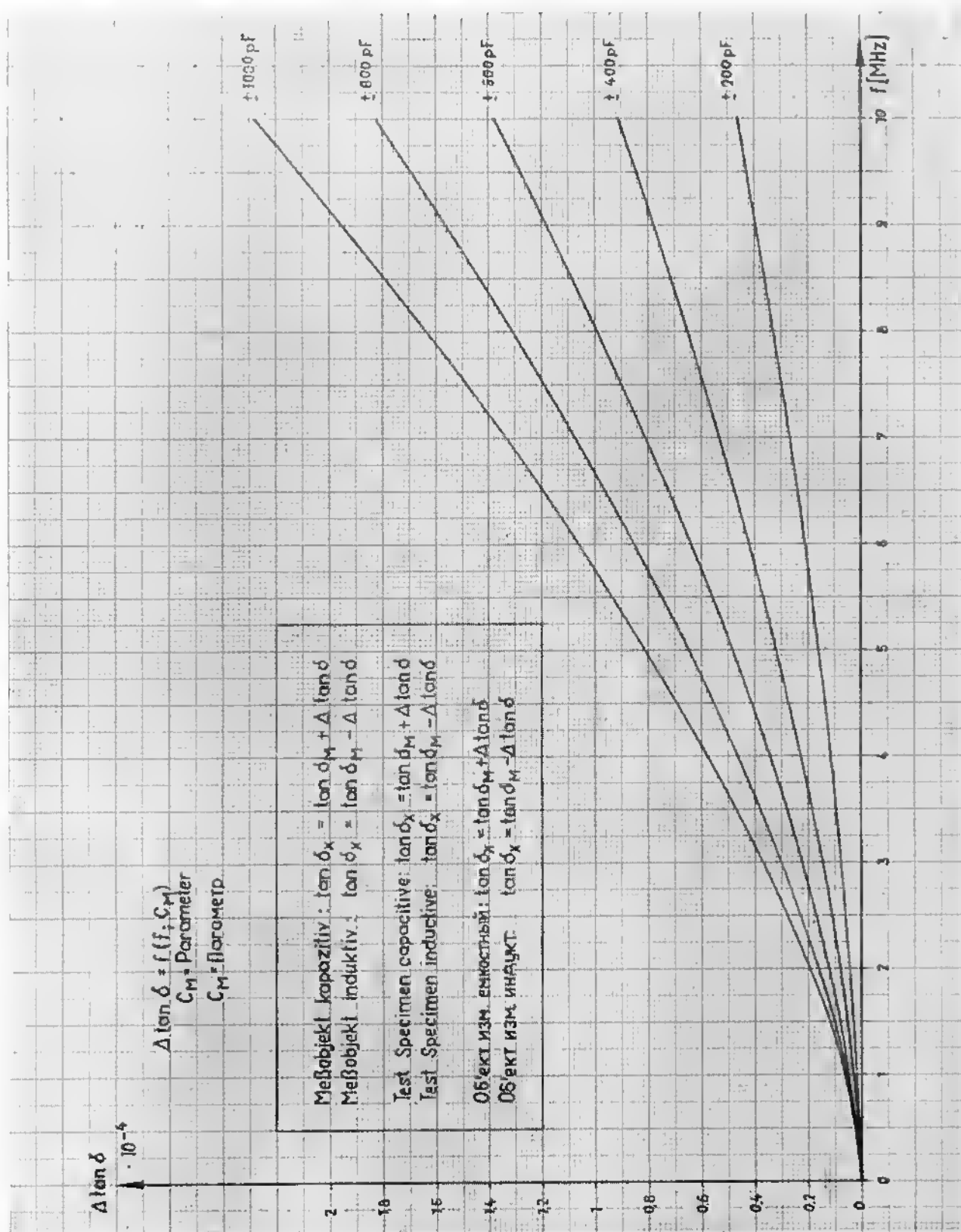
Correction Curve 2

Кривая коррекции 2

Einfluß der Eigenverluste des Meßkreisdiehkondensators

Natural Loss Effects of the Test-circuit Capacitor

Влияние собственных потерь конденсатора нонтура



3. Schalteilliste

Kurz- bezeich- nung	Benennung	Elektrische Werte und Sochnummer	Bemerkungen
C 101	Polyesterkondensator	0,1/10/250 TGL 200—8424	
C 102	Polyesterkondensator	0,1/10/250 TGL 200—8424	
C 103	Rohrkondensator	E 5—10000—350 555 TGL 5345	
C 104	Rohrkondensator	N 033—10/10—500 555 TGL 5345	
C 105	Rohrkondensator	N 750/47/10—500 555 TGL 5345	
C 106	Drehkondensator*)	Typ 503/0276.201—11201	
C 107	Lufttrimmer*)	2,5 pF ... 12,5 pF Typ 8205	
C 108	Lufttrimmer*)	2,5 pF ... 12,5 pF Typ 8205	
C 109	Scheibenkondensator	N 750—12/5—400 555 TGL 24089	
C 110	Rohrkondensator	N 750—390/10—160 555 TGL 5345	
C 111	Lufttrimmer*)	2,5 pF ... 12,5 pF Typ 8205	
C 112	Scheibenkondensator	N 470—9,2/5—400 555 TGL 24099	
C 113	Rohrkondensator	N 750—220/10—160 555 TGL 5345	
C 114	Lufttrimmer*)	2,5 pF ... 12,5 pF Typ 8205	
C 115	Scheibenkondensator	N 470—5,6/5—400 555 TGL 24099	
C 116	Rohrkondensator	N 750—100/10—160 555 TGL 5345	
C 117	Rohrkondensator	N 750—33/10—500 555 TGL 5345	
C 118	Rohrkondensator	N 750—47/10—160 555 TGL 5345	
C 119	Rohrkondensator	N 750—22/10—500 555 TGL 5345	
C 120	Rohrkondensator	N 750—47/10—160 555 TGL 5345	
C 121	Rohrkondensator	N 750—27/10—500 555 TGL 5345	
C 122	Rohrkondensator	N 750—47/10—160 555 TGL 5345	
C 123	Koppler, vollst. *)	4122.007—01050	
C 124	Scheibenkondensator	N 470—5,6/5—400 555 TGL 24099	
C 201	Rohrdurchführungs- kondensator	E 5—10000—350 TGL 200—8293	
C 202	Polyesterkondensator	0,22/10/250 TGL 200—8424	
C 203	Drehkondensator*)	4040.101—00001	
C 204	Abgleich- Drehkondensator*	Typ 702/0279.001—10006	
C 205	Scheibenkondensator	N 750—47/10—500 555 TGL 5347	
C 206	Rohrdurchführungs- kondensator	E 5—10000—350 TGL 200—8293	
C 207	Rohrdurchführungs- kondensator	E 5—10000—350 TGL 200—8293	
C 401	Rohrkondensator	E 5—4700—500 555 TGL 5345	
C 402	Rohrkondensator	E 5—4700—500 555 TGL 5345	
C 403	Rohrkondensator	E 5—4700—500 555 TGL 5345	
C 404	Elyt-Kondensator	100/70—665 TGL 7198	
C 405	Rohrkondensator	E 5—4700—500 555 TGL 5345	
C 406	Rohrkondensator	E 5—4700—500 555 TGL 5345	
C 407	Rohrkondensator	E 5—4700—500 555 TGL 5345	
C 411	Elyt-Kondensator	10/25—665 TGL 7198	
C 412	Elyt-Kondensator	10/25—665 TGL 7198	
C 431	Polyesterkondensator	0,1/10/250 TGL 200—8424	

*) siehe Seite 51

Kurz- bezeich- nung	Benennung	Elektrische Werte und Sachnummer	Bemerkungen
C 432	Polyesterkondensator	1000/10/250 TGL 200—8424	
C 433	Elyt-Kondensator	50/450—776 TGL 5151	
C 501	Elyt-Kondensator	5000/25—666 TGL 5151	
C 502	Entstörkondensator	H 0,08X2X2500 p 250/6—50 TGL 11840	
C 503	Rohrkondensator	N 033—39/10—500 555 TGL 5345	
Dr 101	Drassel	4122.007—01700	
Dr 102	Drossel	4122.007—01700	
Dr 201	UKW-Störschutzdrossel	A 1,5 TGL 9814	
Dr 202	UKW-Störschutzdrossel	A 1,5 TGL 9814	
Dr 203	UKW-Störschutzdrossel	A 1,5 TGL 9814	
Fi 101	Durchführungsfilter	EZs 0136 (y)	
Fi 102	Durchführungsfilter	EZs 0136 (y)	
Fi 103	Durchführungs- kondensator Breitbandfilter	C 0,025/300 TGL 10794	
Fi 104	Durchführungs- kondensator Breitbandfilter	C 0,025/300 TGL 10794	
Fi 201	Durchführungsfilter	EZs 0138 (y)	
Fi 202	Durchführungsfilter	EZs 0138 (y)	
Fi 203	Durchführungsfilter	EZs 0138 (y)	
Gr 401	Gleichrichter*)	1/2 B 20/15 — 0,16 y Reihe	
Gr 411	Germaniumdiode*)	GA 101 TGL 8095	
Gr 412	Germaniumdiode*)	GA 101 TGL 8095	
Gr 431	Siliziumgleichrichter*)	SY 208	
Gr 432	Siliziumgleichrichter*)	SY 208	
Gr 501	Germanium- gleichrichter*)	GY 112	
Gr 502	Germanium- gleichrichter*)	GY 112	
Gl 431	Stabilisatorröhre*)	StR 85/10 TGL 11527	
Gl 501	Einbauglimmröhre*)	R 46/10 T TGL 11852	
Ms 501	Einbauinstrument*) (Spannbandausfüh- rung) Skala	72X78 2X50 _μ A R _i ≤ 2 kΩ nach Zeichn.-Nr. 412206—02226	
R 101	Schichtwiderstand	330 Ω 10 ⁰ / _n 25.518 TGL 8728	
R 102	Schichtwiderstand	100 Ω 10 ⁰ / _n 25.412 TGL 8728	
R 103	Schichtwiderstand	27 kΩ 10 ⁰ / _n 25.518 TGL 8728	
R 104	Schichtwiderstand	39 kΩ 10 ⁰ / _n 25.518 TGL 8728	
R 201	Schichtwiderstand	1 MΩ 10 ⁰ / _n 25.518 TGL 8728	
R 301	Schichtwiderstand	120 kΩ 5 ⁰ / _n 25.518 TGL 8728	
	*) siehe Seite 51		

Kurz- bezeich- nung	Benennung	Elektrische Werte und Sachnummer	Bemerkungen
R 302	Schichtwiderstand	(0 ... 1 k Ω) 10 % 25.412 TGL 8728	wird abgegl.
R 303	Schichtwiderstand	(1 ... 10 M Ω) 10 % 25.412 TGL 8728	wird abgegl.
R 304	Einfach-Schicht- drehwiderstand	50 k Ω 1—12 D 2—665 TGL 9100	
R 305	Einfach-Schicht- drehwiderstand	1 M Ω 1—12 D2—665 TGL 9100	
R 306	Einfach-Schicht- drehwiderstand	100 k Ω 1—12 D2—665 TGL 9100	
R 307	Einfach-Schicht- drehwiderstand	50 k Ω 1—12 D 2—665 TGL 9100	
R 308	Schichtwiderstand	680 k Ω 5 % 25.518 TGL 8728	
R 309	Schichtwiderstand	270 k Ω 5 % 25.518 TGL 8728	
R 401	Schichtwiderstand	4,7 M Ω 10 % 25.518 TGL 8728	
R 402	Schichtwiderstand	200 Ω 5 % 25.412 TGL 8728	
R 403	Einfach-Schicht- drehwiderstand	250 Ω 1—12 D 1—665 TGL 9100	
R 404	Schichtwiderstand	1 W 16 k Ω 5 % 25.732 TGL 8728	
R 405	Schichtwiderstand	1 W 16 k Ω 5 % 25.732 TGL 8728	
R 406	Schichtwiderstand	8,2 k Ω 10 % 25.412 TGL 8728	
R 407	Schichtwiderstand	240 Ω 5 % 25.412 TGL 8728	
R 411	Schichtwiderstand	560 Ω 10 % 25.311 TGL 8728	
R 412	Schichtwiderstand	5,6 k Ω 10 % 25.311 TGL 8728	
R 413	Schichtwiderstand	100 Ω 10 % 25.311 TGL 8728	
R 414	Einfach-Schicht- drehwiderstand	P 500 Ω 1—1—554 TGL 11886	
R 415	Schichtwiderstand	1 k Ω 10 % 25.311 TGL 8728	
R 416	Schichtwiderstand	82 k Ω 10 % 25.311 TGL 8728	
R 417	Einfach-Schicht- drehwiderstand	P 2,5 M Ω 1—554 TGL 11886	
R 418	Schichtwiderstand	10 k Ω 10 % 25.311 TGL 8728	
R 419	Schichtwiderstand	240 Ω 5 % 25.311 TGL 8728	
R 420	Schichtwiderstand	5,1 k Ω 5 % 25.311 TGL 8728	
R 421	Schichtwiderstand	3,3 k Ω 5 % 25.311 TGL 8728	
R 431	Einfach-Schicht- drehwiderstand	P 25 k Ω 1—1—554 TGL 11886	
R 432	Schichtwiderstand	33 k Ω 5 % 25.412 TGL 8728	
R 433	Schichtwiderstand	1,2 k Ω 5 % 25.311 TGL 8728	
R 434	Schichtwiderstand	12 k Ω 5 % 25.518 TGL 8728	
R 435	Schichtwiderstand	51 k Ω 5 % 25.412 TGL 8728	
R 436	Schichtwiderstand	220 k Ω 10 % 25.311 TGL 8728	
R 437	Schichtwiderstand	10 M Ω 10 % 65.616 WBN-Standard 40002, Bl. 2	
R 438	Schichtwiderstand	1 k Ω 10 % 25.311 TGL 8728	
R 501	Präzisions-Wendel- Potentiometer*)	W 32.1 N—100/0,5/2,0	
R 502	Schichtwiderstand	(1 k Ω) 10 % 25.412 TGL 8728	wird abgegl.
R 503	Schichtwiderstand	56 k Ω 5 % 25.732 TGL 8728	

*) siehe Seite 51

Kurz- bezeich- nung	B e n e n n u n g	Elektrische Werte und Sachnummer	Bemerkungen
R 504	Schichtdrehwiderstand	1 k Ω 1—32 A 2—665 TGL 9100	
R 505	Schichtwiderstand	20 k Ω 5 $\frac{1}{11}$ 25.518 TGL 8728	
R 506	Schichtdrehwiderstand	100 Ω 1—32 A 2—665 TGL 9100	
R 507	Schichtwiderstand	390 k Ω 10 $\frac{1}{11}$ 25.412 TGL 8728	
Rö 101	Röhre	EL 95	
Rä 201	Röhre	EAA 91	
Rä 202	Röhre	EA 960	
Rä 401	Röhre	ECC 85	
Rö 431	Röhre	EL 86	
Rä 432	Röhre	EF 80	
S 101	Spulentrammel, vollst.	4122.007—01039	
S 201	Stufenschalter, vollst.	4122.007—01061	
S 501	Drehschalter	} 8 A 2/1—3/12/A 6 \times 32 A 20—12 sw (—) 1 TGL 3702 A 20—12 sw 12 (—) TGL 3702 FS 401.02	
S 502	Drehschalter		
S 503	Kleine Drucktaste		
S 504	Kleine Drucktaste		
S 505	Schalter		
Si 501	G-Schmelzeinsatz*)	T 800 (träge) TGL 0—41571	bei 110 ... 120 V
		T 400 (träge) TGL 0—41571	bei 220 ... 240 V
Si 502	G-Schmelzeinsatz*)	T 800 (träge) TGL 0—41571	bei 110 ... 120 V
		T 400 (träge) TGL 0—41571	bei 220 ... 240 V
Si 503	G-Schmelzeinsatz*)	T 100 (träge) TGL 0—41571	
Si 504	G-Schmelzeinsatz*)	T 2 (träge) TGL 0—41571	
Si 505	G-Schmelzeinsatz*)	T 1,6 (träge) TGL 0—41571	
Sp 101	Spule	4122.007—01701	
Sp 102	Spule	4122.007—01702	
Sp 103	Spule	4122.007—01703	
Sp 104	Spule	4122.007—01704	
Sp 105	Spule	4122.007—01705	
Sp 106	Spule	4122.007—01706	
Sp 201	Spule	4122.007—01707	
Sp 202	Spule	4122.007—01708	
Sp 203	Spule	4122.007—01709	
Sp 204	Spule	4122.007—01710	
Sp 205	Spule	4122.007—01711	
Sp 206	Spule	4122.007—01712	
Sp 207	Spule	4122.007—01713	
Sp 208	Spule	4122.007—01714	
Sp 209	Spule	4122.007—01715	
Sp 210	Spule	4122.007—01716	
Sp 211	Spule	4122.007—01717	
Sp 212	Spule	4122.007—01718	
Sp 213	Spule	4122.007—01719	
Sp 214	Spule	4122.007—01720	
	*) siehe Seite 51		

Kurz- bezeichnung	B e n e n n u n g	Elektrische Werte und Sachnummer	Bemerkungen
T 411	Transistor*)	GC 100 C TGL 200—8253	
T 412	Transistor*)	GC 121 B TGL 200—8393	
T 501	Transistor*)	3 NU 74	
T 502	Transistor*)	GD 160 TGL 200—8238	
Tr 501	Transformator*)	4122.007—01721	
ZD 411	Zenerdiode*)	ZA 250/5 TGL 200—6012	
ZD 412	Zenerdiode*)	ZA 250/6 TGL 200—8012	
	*) siehe Seite 51		

Verwendung von Bauelementen anderer Ausführung, aber gleicher Qualität vorbehalten.

- *) **Service-Teile** sind solche, die erfahrungsgemäß nicht überall erhältlich sind. Sie sind in den technischen Arbeitsunterlagen (Schaltteilliste) mit einem Stern versehen. Alle anderen elektrischen Teile sind handelsüblich und können jederzeit im Einzel- oder Großhandel beschafft werden.

Wir empfehlen, nur einfache Reparaturen an Meßgeräten durchzuführen, z. B. Auswechseln von Röhren, Stabilisatoren, Fotozellen, Glühlampen, Sicherungen usw., bzw. sonstige kleine erkennbare Fehler zu beseitigen.

Reparaturen an Bausteinen oder Stufen, durch die das Meßergebnis beeinflußt wird, können grundsätzlich nur von Spezialisten des Herstellerwerkes ausgeführt werden. Andernfalls wird die Verantwortung für die Einhaltung der technischen Kennwerte abgelehnt. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die technischen Arbeitsunterlagen.

Für die Betreuung der Geräte unserer ausländischen Kunden stehen in verschiedenen Ländern entsprechend ausgerüstete und mit werksseitig geschulten Fachkräften versehene, vertraglich verpflichtete Kundendienststellen zur Ausführung aller einschlägigen Reparaturen zur Verfügung.

Kennzeichnungstabelle

für Widerstände nach TGL

Beispiel:

Kenngröße		1	1	·	5		1	1
Bauform	_____							
Kennfarbe	_____							
Durchmesser (mm)	_____							
Länge (mm)	_____							

TGL 14133

Kenngröße	Nennverlustleistung
11.206	0,05 W
	0,125 W
11.310	0,125 W
11.511	0,25 W
11.618	0,5 W
11.720	1 W
11.1030	2 W

TGL 8728

Kenngröße	Nennverlustleistung
25.311	0,125 W
25.412	0,25 W
25.518	0,5 W
25.732	1 W
25.948	2 W

TGL 4616

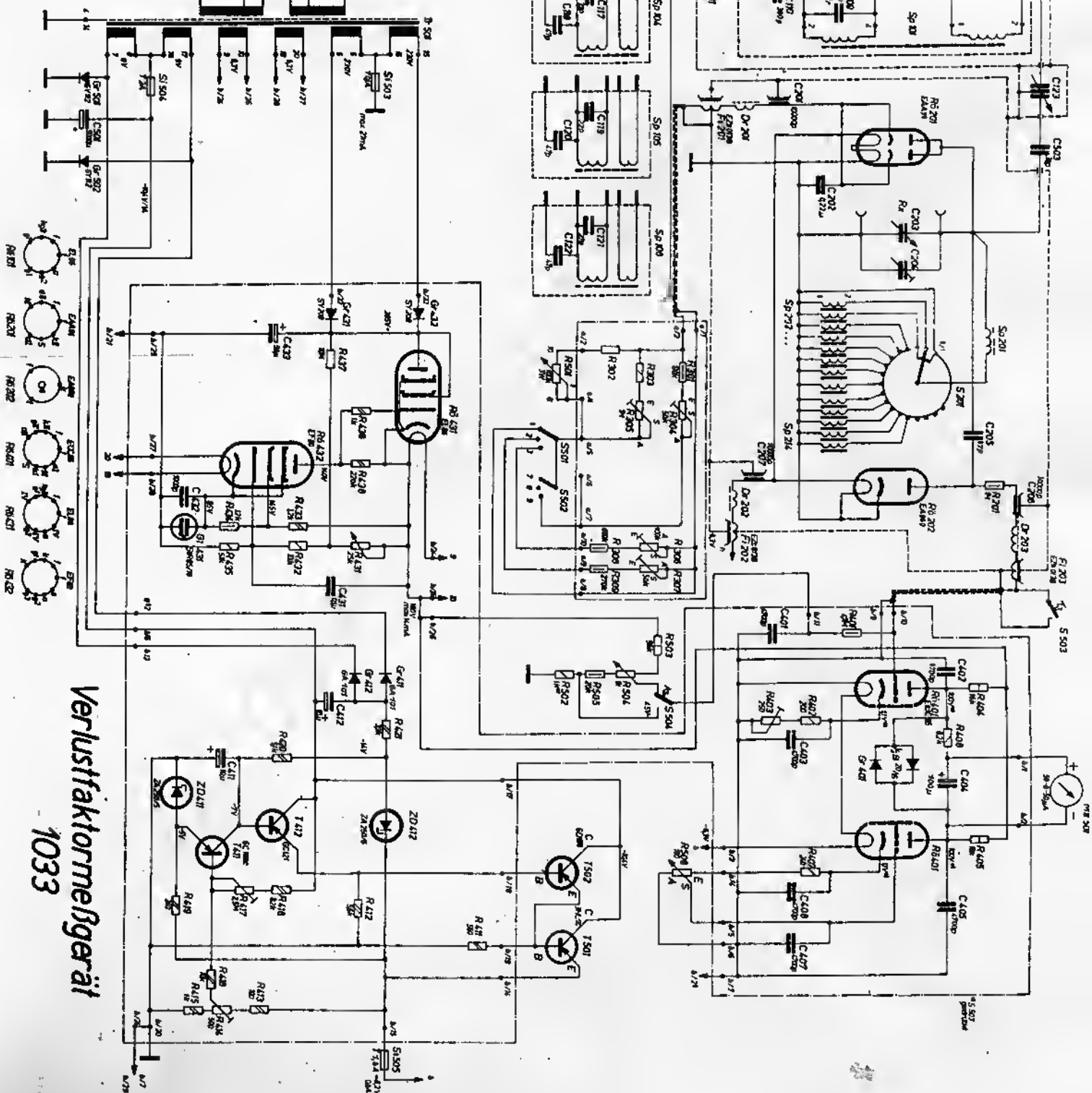
Kenngröße	Nennverlustleistung
65.409	0,05 W
65.413	0,125 W
65.615	0,25 W
65.626	0,5 W
65.732	1 W



TSOT, 502
34077A, 6



W/Producers



Verlustfaktormeßgerät